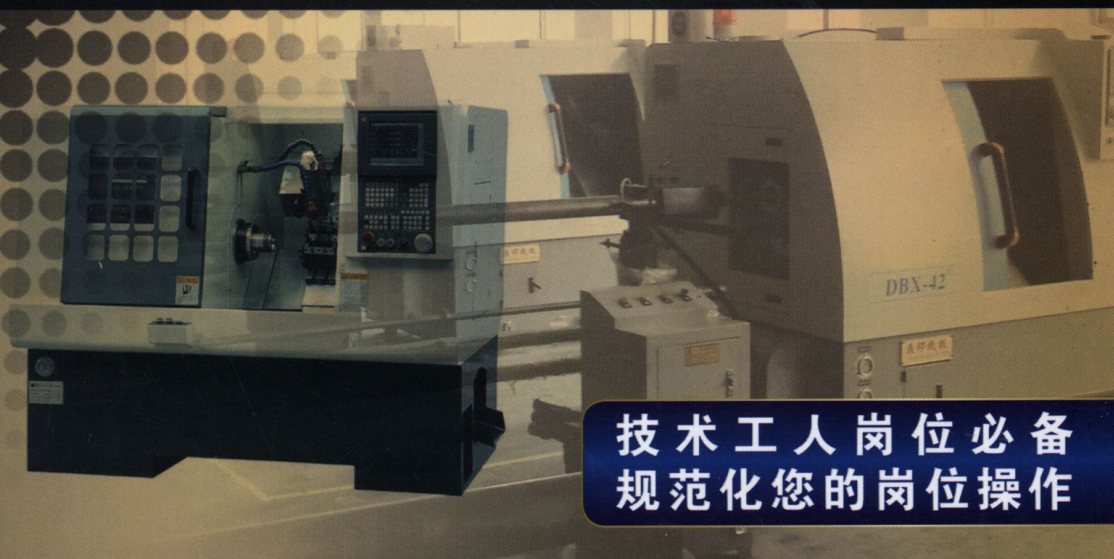


员工岗位手册系列

SHUKONG CHECHUANG CAOZUOGONG
GANGWEI SHOUCHE

数控车床操作工 岗位手册



技术工人岗位必备
规范化您的岗位操作

北京京城机电控股有限责任公司工会 编
赵莹◎主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

员工岗位手册系列

数控车床操作工

岗位手册

北京京城机电控股有限责任公司工会 编

主 编 赵 莹

副主编 白晓杰

参 编 乔向东 杨大维



机械工业出版社

本手册是数控车床操作工岗位员工必备的工具书,内容依据国家最新的职业技能标准编写,涵盖了该岗位必需的基本知识和技能,以及掌握这些知识和技能必备的基础数据资料。全书共三篇,主要内容包括数控车床操作工的职业道德、岗位规范及安全操作规程;数控车床基础知识,数控车床典型结构,数控车床加工工艺,数控车床的编程,数控车床的操作,数控车床的保养与润滑;数控车床加工的5个典型案例,以及有关附录。

本手册非常适合数控车床操作工岗位的技术工人学习和培训使用,对现场的有关工程技术人员了解数控车床操作工的岗位知识、指导技术工人工作也有着重要的参考价值。同时还是职业院校数控加工专业师生必备的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控车床操作工岗位手册/赵莹主编;北京京城机电控股有限责任公司工会编. —北京:机械工业出版社,2014.6

(员工岗位手册系列)

ISBN 978-7-111-47177-6

I. ①数… II. ①赵…②北… III. ①数控机床-车床-操作-技术手册
IV. ①TG519.1-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第140721号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:何月秋 责任编辑:何月秋 张丹丹

版式设计:霍永明 责任校对:张 征

封面设计:马精明 责任印制:李 洋

北京振兴源印务有限公司印刷

2014年9月第1版第1次印刷

169mm×239mm · 15印张 · 297千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-47177-6

定价:38.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

策划编辑:(010) 88379879

社服务中心:(010) 88361066

网络服务

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

读者购书热线:(010) 88379203

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

《员工岗位手册系列》编委会名单

主 任 赵 莹

编 委 (按姓氏笔画排序)

于 丽	马 军	方咏梅	王 诚	王兆华	王克俭
王连升	王京选	王博全	卢富良	石仲洋	刘 哲
刘运祥	刘海波	孙玉荣	权英姿	阮爱华	吴玉琪
吴伯新	吴振江	张 健	张 维	张文杰	张玉龙
张红秀	李 平	李 英	李洪川	李笑声	杜跃熙
周 强	周纪勇	林乐强	武建军	宣树青	胡德厚
赵晓军	夏增周	徐文秀	爱新觉罗·蕤琪		聂晓溪
袁新国	常胜武	韩 湧	廉 红	谭秀田	薛俊明

序

当前我国正面临千载难逢的战略机遇期，同时，国际金融危机、欧债危机等诸多不稳定因素也将对我国经济发展产生不利影响。在严峻考验面前，创新能力强、结构调整快、职工素质高的企业才能展示出勃勃生机。事实证明：在“做强二产”，实现高端制造的跨越发展中，除了自主创新，提高核心竞争力外，还必须拥有一支高素质的职工队伍，这是现代企业生存发展的必然要求。我国已进入“十二五”时期，转方式、调结构，在由“中国制造”向“中国创造”转变的关键期和提升期，重要环节就是培育一批具有核心竞争力和持续创新能力的创新型企业，造就数以千万的技术创新人才和高素质职工队伍，这是企业在经济增长中谋求地位的战略选择；是深入贯彻科学发展观，加快职工队伍知识化进程，保持工人阶级先进性的重大举措；也是实施科教兴国战略，建设人才战略强国的重要任务。

《2002 年中国工会维权蓝皮书》中有段话：“有一个组织叫工会，在任何主角们需要的时候和地方，他们永远是奋不顾身地跑龙套，起承转合，唱念做打……为职工而生，为维权而立。”北京京城机电控股有限责任公司工会从全面落实《北京“十二五”时期职工发展规划》入手，从关注企业和职工共同发展做起，组织编撰完成了涵盖 30 个职业的《员工岗位手册系列》，很好地诠释了这句话。这套丛书是工会组织发动企业工程技术人员、一线生产技师、职业教师和工会工作者共同参与编著而成的，注重了技术层面的维度和深度，体现了企业特色工艺，涵盖了较强的专业理论知识，具有作业指导书、学习参考书以及专业工具书的特性，是一套独特的技能人才必备的“百科全书”。全书力求实现企业工会让广大职工体验“一书在手，工作无忧”以及好书助推成长的深层次服务。

我们希望，机电行业的每名职工都能够通过《员工岗位手册系列》的帮助，学习新知识，掌握新技术，成为本岗位的行家能手，为“十二五”发展战略目标彰显工人阶级的英雄风采！

中共北京市委常委，市人大常委会副主任
党组副书记，市总工会主席

梁伟

前言

数控技术是传统的机械制造技术与计算机技术、信息处理技术、网络通信技术、现代控制技术、传感检测技术、微电子技术、光机电技术等综合应用的产物，是现代化生产环节中不可或缺的重要组成部分。在我国从制造业大国向制造业强国迈进的征途中，数控技术正发挥着越来越不可替代的作用。21 世纪机械制造业的竞争，其实质上就是数控技术的竞争。随着我国数控机床应用的大量普及，企业急需大量熟悉数控车床加工工艺，熟练掌握现代数控车床编程、操作和维护的技能型人才。为了满足企业培养数控车床加工技能人才的需要以及从事数控车床加工的技术工人学习掌握数控车床加工知识和技能的需要，北京京城机电控股有限公司工会组织公司内经验丰富的一线技术人员和教师编写了这本《数控车床操作工岗位手册》。

本手册是数控车床操作工岗位员工必备的工具书，内容依据国家最新的职业技能标准编写，涵盖了该岗位必需的基本知识和技能，以及掌握这些知识和技能必备的基础数据资料。全书共三篇，主要内容包括数控车床操作工的职业道德、岗位规范及安全操作规程；数控车床基础知识，数控车床典型结构，数控车床加工工艺，数控车床的编程，数控车床的操作，数控车床的保养与润滑；数控车床加工的 5 个典型案例，以及有关附录。

本手册非常适合数控车床操作工岗位的技术工人学习和培训使用，对现场的有关工程技术人员了解数控车床操作工的岗位知识、指导技术工人工作也有着重要的参考价值。同时还是职业院校数控加工专业师生必备的参考书。

本手册由赵莹任主编，白晓杰任副主编。乔向东、杨大维参与了编写工作。本手册在编写过程中得到了众多专家、高级技师的关心和大力支持，在此一并致谢。

由于编者水平所限，书中难免有欠妥之处，望广大读者批评指正。

编者

目 录

序 前言

第一篇 职业道德及岗位规范

第一章 职业道德	1	第三章 安全操作规程	9
第二章 岗位规范	5	第一节 数控车床安全操作	
第一节 岗位描述	5	规程	9
第二节 岗位守则	6	第二节 数控立式车床安全	
第三节 安全操作与文明		操作规程	11
生产	7	第三节 砂轮机安全操作规程	12

第二篇 岗位基础知识

第一章 数控车床基础知识	14	系统	39
第一节 数控车床基础知识		第三节 数控车床的进给传动	
概述	14	系统	42
第二节 数控车床的概念	17	第四节 数控车床的刀架	
第三节 数控车床的分类	18	系统	51
第四节 数控车床的特点	25	第五节 数控车床的主轴箱	58
第五节 数控车床的适用		第六节 数控车床的液压	
范围	26	系统	64
第六节 数控车床的组成	27	第七节 数控车床的冷却	
第七节 数控车床的工作		系统	67
原理	30	第八节 数控车床的排屑	
第八节 数控车床的加工		系统	68
过程	31	第九节 数控车床的床身及	
第九节 数控车床的精度	32	尾座	70
第二章 数控车床典型结构	34	第十节 数控车床的附件	74
第一节 数控机床的数控		第三章 数控车床加工工艺	79
系统	35	第一节 数控车床加工的工艺	
第二节 数控车床的主传动		特点、运动和内容	79

第二节 数控车床的切削要素	80	指令代码	121
第三节 数控车床的切削方案与加工精度	85	第六节 数控车床常用指令举例	128
第四节 数控车床零件加工的装夹与定位	85	第七节 数控车床的编程特点	139
第五节 数控车床使用的刀具	88	第八节 数控车床数控系统 (CNC) 的功能与操作	140
第六节 数控车床常用的量具	101	第九节 数控车床的自动编程	142
第七节 数控车床加工辅助工艺知识	107	第五章 数控车床的操作	145
第四章 数控车床的编程	113	第一节 数控车床的基本操作	145
第一节 数控车床程序的编制	113	第二节 数控车床对刀方法	157
第二节 数控车床坐标系	115	第三节 数控车床刀具补偿的运用	161
第三节 数控车床的程序结构与程序段格式	118	第六章 数控车床的保养与润滑	169
第四节 数控车床编程的子程序与宏程序	120	第一节 数控车床的保养与维护	169
第五节 数控车床加工程序的		第二节 数控车床的润滑	171
第三篇 典型案例			
案例 1 注塑机活塞杆加工	174	案例 4 液压泵零件的加工	189
案例 2 电机轴的加工	179	案例 5 非圆曲线零件的自动编程	195
案例 3 环盖零件的加工	184		
附 录			
附录 A 数控车工国家职业标准	201	应用	217
附录 B 车削误差的种类、原因及预防	212	附录 D 轴、孔极限偏差	221
附录 C 公差等级的选择及		附录 E FANUC 系统数控车床报警信息	225
参考文献	229		

第一章

职 业 道 德

一、职业道德的基本概念

职业道德是规范约束从业人员职业活动的行为准则。加强职业道德建设是推动社会主义物质文明和精神文明建设的需要，是促进行业、企业生存和发展的需要，也是提高从业人员素质的需要。掌握职业道德基本知识，树立职业道德观念是对每一个从业人员最基本的要求。

1. 道德与职业道德

道德，就是一定社会、一定阶级向人们提出的处理人和人之间、个人与社会之间、个人与自然之间各种关系的一种特殊的行为规范。道德是做人的根本。道德是一个庞大的体系，而职业道德是这个体系中一个重要部分，它是社会分工发展到一定阶段的产物。所谓职业道德，它是指从事一定职业劳动的人们，在特定的工作和劳动中以其内心信念和特殊社会手段来维持的，以善恶进行评价的心理意识、行为原则和行为规范的总和，它是人们在从事职业的过程中形成的一种内在的、非强制性的约束机制。职业道德的内容包括职业道德意识、职业道德行为规范和职业守则等。职业道德是社会道德在职业行为和职业关系中的具体体现，是整个社会道德生活的重要组成部分。

2. 职业道德的特征

职业道德的特征有以下三个方面：

1) 范围上的局限性。任何职业道德的适应范围都不是普遍的，而是特定的、有限的。一方面，他主要适用于走上社会岗位的成年人；另一方面，尽管职业道德也有一些共同性的要求，但某一特定行业的职业道德也只适用于专门从事本职业的人。

2) 内容上的稳定性和连续性。由于职业分工有其相对的稳定性，与其相适应

的职业道德也就有较强的稳定性和连续性。

3) 形式上的多样性。因行业而异,一般来说,有多少种不同的行业,就有多少种不同的职业道德。

二、职业道德的社会作用

1. 职业道德与企业的发展

(1) 职业道德是企业文化的重要组成部分 职工是企业的主体,企业文化必须以企业职工为中介,借助职工的生产、经营和服务行为来实现。

(2) 职业道德是增强企业凝聚力的手段 职业道德是协调职工同事之间、职工与领导之间以及职工与企业之间关系的法宝。

(3) 职业道德可以提高企业的竞争力 职业道德有利于企业提高产品和服务的质量;可以降低产品成本、提高劳动生产率和经济效益;有利于企业的技术进步;有利于企业摆脱困难,实现企业阶段性的发展目标;有利于企业树立良好形象、创造著名品牌。

2. 职业道德与人自身的发展

(1) 职业道德是事业成功的保证 没有职业道德的人干不好任何工作,每一个成功的人往往都有较高的职业道德。

(2) 职业道德是人格的一面镜子 人的职业道德品质反映着人的整体道德素质,职业道德的提高有利于人的思想道德素质的全面提高,提高职业道德水平是人格升华最重要的途径。

三、社会主义职业道德

职业道德是社会主义道德体系的重要组成部分。由于每个职业都与国家、人民的利益密切相关,每个工作岗位、每一次职业行为,都包含着如何处理个人与集体、个人与国家利益的关系问题。因此,职业道德是社会主义道德体系的重要组成部分。

职业道德的实质内容是树立全新的社会主义劳动态度。职业道德的实质就是在社会主义市场经济条件下,约束从业人员的行为,鼓励其通过诚实的劳动,在改善自己生活的同时,增加社会财富,促进国家建设。劳动无疑是个人谋生的手段,也是为社会服务的途径。劳动的双重含义决定了从业人员要有全新的劳动态度和职业道德观念。社会主义职业道德的基本规范如下:

1. 爱岗敬业, 忠于职守

任何一种道德都是从一定的社会责任出发,在个人履行对社会责任的过程中,培养相应的社会责任感,从长期的良好行为和规范中建立起个人的道德。因此,职业道德首先要从爱岗敬业、忠于职守的职业行为规范开始。

爱岗敬业是对从业人员工作态度的首要要求。爱岗就是热爱自己的工作岗位,

热爱本职工作。敬业就是以一种严肃认真的态度对待工作，工作勤奋努力，精益求精，尽心尽力，尽职尽责。

爱岗与敬业是紧密相连的，不爱岗很难做到敬业，不敬业更谈不上爱岗。如果工作不认真，能混就混，爱岗就会成为一句空话。只有工作责任心强，不辞辛苦，不怕麻烦，精益求精，才是真正爱岗敬业。

忠于职守，就是要求把自己职业范围内的工作做好，达到工作质量标准 and 规范要求。如果从业人员都能够做到爱岗敬业、忠于职守，就会有力地促进企业与社会的发展和进步。

2. 诚实守信，办事公道

诚实守信、办事公道是做人的基本道德品质，也是职业道德的基本要求。诚实就是人在社会交往中不讲假话，能够忠于事物的本来面目，不歪曲、篡改事实，不隐瞒自己的观点，不掩饰自己的情感，光明磊落，表里如一。守信就是信守诺言，讲信誉、重信用，忠实履行自己应承担的义务。办事公道是指在利益关系中，正确处理好国家、企业、个人及他人的利益关系，不徇私情，不谋私利。在工作中要处理好企业和个人的利益关系，做到个人服从集体，保证个人利益和集体利益相统一。

信誉是企业市场经济中赖以生存的重要依据，而良好的产品质量和服务是建立企业信誉的基础。企业的从业人员必须在职业活动中以诚实守信、办事公道的职业态度，为社会创造和提供质量过硬的产品和服务。

3. 遵纪守法，廉洁奉公

任何社会的发展都需要有力的法律、规章制度来维护社会各项活动的正常运行。法律、法规、政策和各种组织制定的规章制度，都是按照事物发展规律制定出来的，用于约束人们的行为规范。从业人员除了要遵守国家的法律、法规和政策外，还要自觉遵守与职业活动行为有关的制度和纪律，如劳动纪律、安全操作规程、操作程序、工艺文件等，才能很好地履行岗位职责，完成本职工作任务。

廉洁奉公强调的是，要求从业人员公私分明，不损害国家和集体的利益，不利用岗位职权牟取私利。遵纪守法、廉洁奉公，是每个从业人员都应该具备的道德品质。

4. 服务群众，奉献社会

服务群众就是为人民服务。一个从业人员既是别人服务的对象，又是为别人服务的主体。每个人都承担着为他人做出职业服务的职责，要做到服务群众就要做到心中有群众、尊重群众、真心对待群众，做什么事都要想到方便群众。

奉献社会是职业道德中的最高境界，同时也是做人的最高境界。奉献社会就是不计个人的名利得失，一心为社会做贡献；是指一种融在一件件具体事情中的高尚人格，就是为社会服务，为他人服务，全心全意为人民服务。从业人员达到了一心为社会做奉献的境界，就与为人民服务的宗旨相吻合了，就必定能做好自

己的本职工作。

四、职业守则

- 1) 遵守国家法律、法规和有关规定。
- 2) 具有高度的责任心，爱岗敬业、团结合作。
- 3) 严格执行相关标准、工作程序与规范、工艺文件和安全操作规程。
- 4) 学习新知识新技能，勇于开拓和创新。
- 5) 爱护设备、系统及工具、夹具、量具。
- 6) 着装整洁，符合规定；保持工作环境清洁有序，文明生产。

第二章

岗位规范

第一节 岗位描述

一、数控加工

数控加工（Numerical Control Machining）是指在数控机床上进行零件加工的一种工艺方法。数控机床加工与传统的机床加工有着许多相似之处，但在零件加工工艺方面，数控加工也有着自己特有的工艺规程与方法。就形式而言，数控机床加工是一种通过数字信息控制机床各执行部件驱动刀具、零件产生相对运动，从而实现金属切削加工的机械加工方法。它主要适合于品种多变、批量小、形状复杂、精度高的零件加工，是实现高效化和自动化加工的有效途径。

在整个加工过程中，数控系统会根据操作者输入的信息发出指令来完成数控机床的主切削运动和辅助运动。而数控系统所发出的指令是由编程人员、数控车床操作者根据零件的材质、加工要求、机床的特性和机床数控系统所规定的指令格式编写的，即数控加工程序。数控系统根据程序指令向伺服装置和其他功能部件发出运行或中断信息来控制机床的各种运动。数控机床在数控系统中若没有输入程序指令，数控机床就不能工作。

二、数控车床和车工

数控车床是机加工行业中使用最为广泛的数控机床之一。它主要用于加工轴类、盘类、套类等具有回转表面的回转体零件。通过数控加工程序的运行，可以自动完成内、外圆柱面，圆锥面，曲线连接成形表面，螺纹和端面的程序加工，而且可以完成沟槽、钻孔、扩孔、铰孔等加工内容。

数控车削中心、车铣复合中心在普通数控车床的基础上，还具有动力刀架和C轴功能，可以在零件的一次装夹中完成多个工序的加工，大大提高了零件的加工精度和生产效率。

数控车工是指从事编制数控加工程序并操作数控车床进行零件车削加工的人员。

第二节 岗 位 守 则

1) 认真贯彻执行各种安全管理规定,对本工种安全操作规程不掌握者,不得独立上岗。

2) 贯彻执行工艺规程,执行管理标准,遵守国家环境保护的相关规定。

3) 贯彻执行质量管理标准,保证产品质量,优质、高效、低耗地完成工作,废品率、次品率不得超过规定要求。

4) 坚守工作岗位,遵守数控车床安全操作规程,做到按时、保质、保量完成生产任务。

5) 严格按设计图样、工艺文件、技术标准进行生产,在加工过程中进行自检和互检。

6) 操作前必须穿戴好本工种所规定使用的劳动保护用品,女工要戴防护帽,严禁滥用劳动保护用品。

7) 开动机床时不准戴手套工作。

8) 熟悉所使用数控车床的结构、性能和操作方法,开机前要认真检查、润滑、试运转。操作技术不熟悉者,不准擅自独立操作。

9) 一台设备二人同时工作时,要有主有从,多人工作时,要指定一人负责。

10) 按照规定要求,及时维护保养设备、工装,对设备使用的工、夹、量、刃、工具等必须检查,使其保持良好。

11) 使用砂轮机刃磨刀具时,必须遵守砂轮安全操作规程。

12) 认真搞好机床的保养、维护工作,保证机床设备的使用完好率。

13) 执行班组管理标准,下班前将工作用物品摆放整齐,清擦设备,工作环境保持干净、整洁。

14) 认真贯彻交接班制度,认真填写交接班记录。上班操作前,如发现有不安全因素,应立即采取措施排除,并向有关领导上报情况,尚未解决时不准操作。

15) 零件加工后,零件和剩余边角料要按规定分类存放,堆放整齐,不得浪费。

16) 遇有下列情况之一时,机床必须停止运行:

① 离开工作岗位(不论时间长短)。

② 工作中机床设备发生松动及异常声音时。

③ 调整刀具、修理设备时。

④ 调整夹具、找正或装卸工件时。

⑤ 测量及检查工件时。

17) 停止工作时应完成下列工作后离开岗位:

- ① 将切削中的刀具移开加工区。
- ② 关闭机床设备的电源。
- ③ 清除切屑和油污。
- ④ 办理交接班手续。

第三节 安全操作与文明生产

一、安全操作规范

- 1) 尚未经过专业培训的人员不得操作数控车床。
- 2) 数控车床加工人员在操作设备前必须熟读机床操作说明书,并完全理解其内容。禁止使用操作说明书中未作说明的步骤和方法运行数控车床。
- 3) 操作者感觉身体、精神不适时,切勿操作机床。
- 4) 操作人员要熟记急停按钮的操作方法,随时检查并确保急停按钮完好无损,发现异常及时报修。
- 5) 发现数控车床有异常时,必须立即停止操作,修复后才可使用。
- 6) 在机床工作环境周围必须有足够的照明设施。
- 7) 操作数控车床要穿着安全鞋,对刀时必须戴护目镜。
- 8) 当设备出现故障时,维修前必须切断电源。
- 9) 操作过程中勿将工、量、刀具或杂物放置在机床滑板及防护门上方。
- 10) 请勿触摸运转中的工件或主轴,更不可随意更换、调整工件或夹具。
- 11) 搬运大型工件时,要求两人以上操作,并使用桥式起重机(俗称天车)、液压搬运车。
- 12) 操作机床加工前,务必将安全防护门全部关闭,防止物件飞出导致严重伤害事故发生。
- 13) 刀具、工件安装完成后,务必先进行试运行,确认无误后方可开始加工操作。
- 14) 数控加工程序输入后,先进行图形模拟运行,确认无误后方可自动运行。
- 15) 数控加工程序初次运行,可采用单步运行模式,并手动控制进给速度。
- 16) 数控设备在执行程序自动加工时,如需调整冷却设备,必须停止程序运行,可将设备调至进给保持状态。其他操作在程序运行过程中一律禁止。
- 17) 操作者工作时,切勿与他人交谈,以免分心,造成废品或事故。

二、文明生产守则

- 1) 工作服、鞋、帽等应经常保持整洁。

2) 正确使用机床和做好机床设备的维护保养工作，使设备经常处于完好状态。

3) 图样、工艺卡片安放位置应便于阅读，并注意保持清洁和完整。

4) 工具、刃具和量具都要按现代工厂对定置管理的要求，做到分类定置和分格存放，使用时要求做到重的放下面，轻的放上面。不常用的放里面，常用的放在随手可取的方便处。应按工具箱内的定置图示位置存放，每班工作结束应整理清点一次。

5) 精加工零件应用工位器具存放，使加工面隔开，以防止相互磕碰而损伤表面。精加工表面完工后，应适当涂油以防锈蚀。

6) 着装整洁，符合规定，爱护设备及工具、夹具、刀具、量具。

7) 严格执行工作程序、工作规范、工艺文件，严格工艺纪律、贯彻操作规程。

8) 保持工作环境清洁有序，文明生产。

第三章

安全操作规程

第一节 数控车床安全操作规程

一、安全操作的基本注意事项

- 1) 工作时请穿好工作服、安全鞋，戴好工作帽及防护镜，不允许戴手套操作机床。
- 2) 不要移动或损坏安装在机床上的警告标牌。
- 3) 不要在机床周围放置障碍物，工作空间应足够大。
- 4) 某一项工作如需要两个人或多人共同完成时，应注意相互间的协调一致。
- 5) 不允许采用压缩空气清洗机床电气柜及 NC 单元。

二、工作前的准备工作

- 1) 机床开始工作前要有预热，认真检查润滑系统工作是否正常，如机床长时间未开动，可先采用手动方式向各部分供油润滑。
- 2) 使用的刀具应与机床允许的规格相符，有严重破损的刀具要及时更换。
- 3) 调整刀具，所用工具不要遗忘在机床内。
- 4) 大尺寸轴类零件的中心孔是否合适，中心孔如太小，工作中易发生危险。
- 5) 刀具安装好后应进行试切削。
- 6) 检查卡盘与主轴的连接、卡盘夹紧工件的状态。
- 7) 机床开动前，必须关好机床防护门。

三、工作过程中的安全注意事项

- 1) 禁止用手接触刀尖和铁屑，铁屑必须要用铁钩子或毛刷来清理。
- 2) 禁止用手或其他任何方式接触正在旋转的主轴、工件或其他运动部位。
- 3) 禁止加工过程中测量工件，更不能用棉丝擦拭工件，也不能清扫机床。

4) 车床运转中, 操作者不得离开岗位, 若发现机床有异常现象, 立即按下急停开关, 检查原因并及时上报。

5) 经常检查轴承温度, 过高时应找有关人员进行检查。

6) 在加工过程中, 不允许打开机床防护门。

7) 严格遵守岗位责任制, 机床由专人使用, 他人使用须经操作者本人同意。

8) 工件伸出车床主轴箱以外时, 须在伸出位置设置防护物。

9) 禁止进行尝试性操作。

10) 手动原点回归时, 注意机床各轴位置要距离原点 -100mm 以上, 机床原点回归顺序为: 首先 $+X$ 轴, 其次 $+Z$ 轴。

11) 使用手轮或快速移动方式移动各轴位置时, 一定要看清机床 X 、 Z 轴各方向 “ $+$ ”、“ $-$ ” 号标牌后再移动。移动时先慢转手轮, 观察机床移动方向无误后方可加快移动速度。

12) 编完程序或将程序输入机床后, 须先进行图形模拟, 准确无误后再进行机床试运行, 并且刀具应离开工件端面 200mm 以上。

13) 程序运行注意事项:

① 对刀应准确无误, 刀具补偿号应与程序调用刀具号符合。

② 检查机床各功能按键的位置是否正确。

③ 光标要放在主程序开头。

④ 加注适量切削液。

⑤ 站立位置应合适, 启动程序时, 右手做按急停按钮的准备, 程序在运行当中手不能离开急停按钮, 如有紧急情况, 立即按下急停按钮。

14) 加工过程中认真观察切削及冷却状况, 确保机床、刀具的正常运行及工件的质量, 并关闭防护门, 以免铁屑、润滑油飞出。

15) 在程序运行中需要暂停测量工件尺寸时, 要待机床完全停止、主轴停转后方可进行测量, 以免发生人身事故。

16) 关机时, 要等主轴停转 3min 后方可关机。

17) 未经许可禁止打开电器箱。

18) 各手动润滑点必须按说明书的要求润滑。

19) 修改程序的钥匙在程序调整完后要立即取下, 不得插在机床上, 以免操作失误改动程序。

20) 使用机床前, 每日必须将切削液循环 0.5h , 冬天时间可稍短一些, 切削液要定期更换, 一般在 $1\sim 2$ 个月之间。

21) 机床若数天不使用, 则每隔一天应对 NC 及 CRT 部分通电 $2\sim 3\text{h}$ 。

四、工作完成后的注意事项

1) 清除切屑、擦拭机床, 使机床与环境保持清洁状态。

- 2) 注意检查或更换磨损了的机床导轨上的油擦板。
- 3) 检查润滑油、切削液的状态, 及时添加或更换。
- 4) 依次关掉机床操作面板上的电源和总电源。

第二节 数控立式车床安全操作规程

一、工作前

- 1) 操作人员必须经过安全技术培训, 考试合格后, 方可上岗作业。
- 2) 必须熟悉数控机床的操作说明书, 掌握机床操作要领, 学徒人员禁止独立操作机床。
- 3) 操作者按机床使用说明书的规定检查油标和油量, 给相关部位加油, 部分外露导轨要进行手动润滑。
- 4) 在每次电源接通后, 必须先完成各轴的返回参考点操作, 然后再进入其他运行方式, 以确保各轴坐标的正确性。
- 5) 机床导轨面和工作台上禁止放工具和其他物品。
- 6) 由于机床回转部件较普通数控车床大, 所以机床开动前要观察周围动态, 机床开动后, 要站在安全位置上, 以避开机床运动部位和铁屑飞溅。
- 7) 立式数控车床卡盘回转半径大, 装夹零件同样很重, 需要操作者小心操作, 在不好观察的情况下, 需要两名操作者协作完成。
- 8) 调整走台高度和伸出长度, 必须严格遵照说明书要求, 不得生拉硬拽。

二、工作中

- 1) 加工过程中, 严格执行工艺纪律, 看清图样, 领会各部分控制点、表面粗糙度和有关部位的技术要求, 确定好工件的加工工艺。
- 2) 工装、夹具、刀具及工件必须装夹牢固。开车后应先进行低速空转, 一切正常后, 方可正式作业。
- 3) 禁止超负荷使用机床, 不准以机床移动部件为动力推/拉动工件找正。
- 4) 在开动机床移动/旋转轴之前, 要确保周围无障碍物干涉, 无人员走动或停留, 避免人机损伤。要随时观察坐标轴位置, 运行到极限位置时要减速缓行, 没有特殊需要, 不可以碰撞硬限位。
- 5) 机床运转中, 不准触摸运动中的工件和刀具, 不准在运转中测量尺寸, 禁止隔着机床传动部分传递或拿取工具等物品。
- 6) 禁止用手接触刀尖和铁屑, 铁屑必须要用铁钩子或毛刷等专用工具来清理。
- 7) 机床运转中, 操作者不得脱离岗位, 无人值守时必须停车。

8) 机床运转中,如出现异常危机情况,可按下“急停”按钮,以确保人身和设备的安全。

9) 机床出现异常时,应立即停车报检,不得强行或带病使用。

10) 如机床长时间停用,机床运行应遵循先低速、中速、再高速的原则,其中低速、中速运行时间不得少于2~3min。当确定无异常情况,方可开始工作。

11) 机床上的保险和安全防护装置,操作者不得任意拆卸和移动。

三、工作后

1) 各种工具、量具及刀具要放到指定位置,保持完整和良好。

2) 清除切屑、擦拭机床,使机床与环境保持清洁状态。

3) 填写“交接班记录”,做好交接班工作。

4) 如机床在较长时间内不用,必须按机床操作说明书规定的顺序关闭电源。

第三节 砂轮机安全操作规程

1) 公用砂轮机要有专人负责,经常检查,以保证正常运转。

2) 操作前要穿紧身防护服,袖口扣紧,上衣下摆不能敞开,严禁戴手套,不得穿拖鞋,不得在开动的砂轮机旁穿、脱换衣服,防止机器绞伤。要戴好防护镜,以防切屑飞溅伤眼。

3) 对砂轮机性能不熟悉的人,不能使用砂轮机。

4) 砂轮机在开动前,应用手转动砂轮,检查砂轮是否有裂纹,防护罩及各部位是否正常。要认真查看砂轮机与防护罩之间有无杂物。确认无问题时,再开动砂轮机。

5) 砂轮机因长期使用磨损严重时,电动机轴承径向圆跳动、振动过大,不准使用。

6) 砂轮机因维修不良发生故障,或者砂轮轴晃动,没有托刀架,安装不符合安全要求时,不准开动。

7) 更换新砂轮,必须认真选择。有裂纹、破损的砂轮,或者砂轮轴与砂轮孔配合不好的砂轮,不准使用。更换砂轮时用力要均匀,不要上得过松或过紧。更换新砂轮经修整、平衡和校验之后,才能使用。

8) 砂轮机的防护罩和透明防护板以及吸尘器,必须设置完备。

9) 托刀架与砂轮工作面的距离不能大于3mm,磨削前应进行调整,满足其要求,并确保安装牢固。

10) 砂轮机开动后,要空转2~3min,待砂轮机运转正常时,开动除尘装置,才能使用。砂轮使用的最高转速不得超过砂轮规定的线速度安全值。

11) 使用砂轮时,操作者应站在砂轮机的侧面,禁止面对着砂轮圆周面进行

磨削，以防砂轮崩裂发生事故。

12) 刃磨工件或刀具时，不能用力过猛，不准撞击砂轮。

13) 在同一块砂轮上，禁止两人同时使用，禁止在砂轮的侧面刃磨刀具或工件。

14) 刃磨刀具或工具用的专用砂轮不准刃磨其他工件和材料。

15) 对于细小的、大的和不易把持的工件，不准直接在砂轮机上刃磨。特别是小件要用工、夹具拿牢，以防挤入砂轮机内或挤在砂轮与托板之间，将砂轮挤碎。

16) 砂轮不准沾水，要经常保持干燥，以防浸湿后失去平衡，发生事故。

17) 砂轮磨小到接近法兰盘边沿旋转面 10mm 时，应及时更换新砂轮。发现砂轮面出现沟槽、径向圆跳动过大时，要修磨后再使用。

18) 砂轮机用完后，应立即切断电源，不要让砂轮机空转。最后关闭除尘装置。

数控车床基础知识

第一节 数控车床基础知识概述

一、数控技术与数控机床

数控技术，简称数控（Numerical Control，NC），是利用数字化信息对机械运动及加工过程进行控制的一种方法。由于现代数控都采用了计算机进行控制，因此，也可以称为计算机数控（Computerized Numerical Control，CNC）。

数控技术是用数字信息对机械运动和工作过程进行控制的技术，是现代化工业生产中一门新型的，发展十分迅速的高新技术。数控装备是以数控技术为代表的新技术对传统制造产业和新兴制造业的渗透形成的机电一体化产品，即所谓的数字化装备，其技术范围所覆盖的领域有：机械制造技术，微电子技术，信息处理、加工、传输技术，自动控制技术，伺服驱动技术，检测监控技术，传感器技术，软件技术等。数控技术及装备是发展新兴高新技术产业和尖端工业（如信息技术及其产业，生物技术及其产业，航空、航天等国防工业产业）的使能技术和最基本的装备。在提高生产率、降低成本、保证加工质量及改善工人劳动强度等方面，都有突出的优点，特别是在适应机械产品迅速更新换代、小批量、多品种生产方面，各类数控装备是实现先进制造技术的关键。

数控机床（见图 2-1-1）是一种装了程序控制系统的机床，该机床的控制系统能逻辑地处理具有使用号码或其他符号编码指令规定的程序。数控机床是一种综合应用了计算机技术、自动控制技术、精密测量技术和机床设计等先进技术的典型机电一体化产品，是现代制造技术的基础。机床控制也是数控技术应用最早、最广泛的领域，因此，数控机床的水平代表了当前数控技术的性能、水平和发展方向。数控机床种类繁多，有钻铣镗床类、车削类、磨削类、电加工类、锻压类、

激光加工类和其他特殊用途的专用数控机床等，凡是采用了数控技术进行控制的机床统称为 NC 机床。

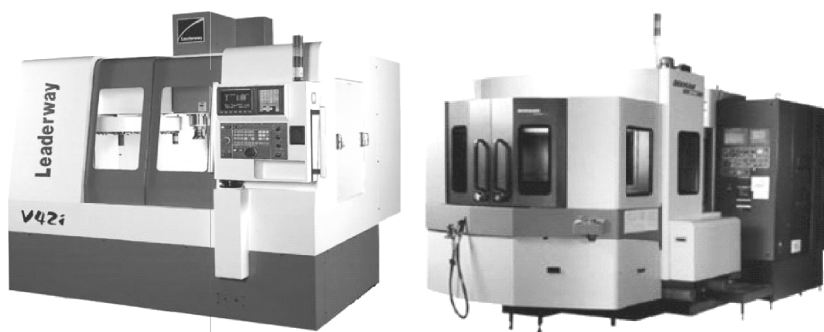


图 2-1-1 数控机床

带有自动刀具交换装置（Automatic Tool Changer, ATC）的数控机床（带有回转刀架的数控车床除外）称为加工中心（Machine Center, MC）。它通过刀具的自动交换，可以一次装夹完成多工序的加工，实现了工序的集中和工艺的复合，从而缩短了辅助加工时间，提高了机床的效率，减少了零件安装、定位次数，提高了加工精度。加工中心是目前数控机床中产量最大、应用最广的数控机床。

在加工中心的基础上，通过增加多工作台（托盘）自动交换装置（Auto Pallet Changer, APC）以及其他相关装置，组成的加工单元称为柔性加工单元（Flexible Manufacturing Cell, FMC）。FMC 不仅实现了工序的集中和工艺的复合，而且通过工作台（托盘）的自动交换和较完善的自动检测、监控功能，可以进行一定时间的无人化加工，从而进一步提高了设备的加工效率。FMC 既是柔性制造系统的基础，又可以作为独立的自动化加工设备使用，因此其发展速度较快。在 FMC 和加工中心的基础上，通过增加物流系统、工业机器人以及相关设备，并由中央控制系统进行集中、统一控制和管理，这样的制造系统称为柔性制造系统（Flexible Manufacturing Cell, FMC）。FMC 不仅可以进行长时间的无人化加工，而且可以实现多品种零件的全部加工或部件装配，实现了车间制造过程的自动化，它是一种高度自动化的先进制造系统。

随着科学技术的发展，为了适应市场需求多变的形势，对现代制造业来说，不仅需要发展车间制造过程的自动化，而且要实现从市场预测、生产决策、产品设计、产品制造直到产品销售的全面自动化。将这些要求综合后构成的完整生产制造系统，称为计算机集成制造系统（Computer Integrated Manufacturing System, CIMS）。CIMS 将一个工厂的生产、经营活动进行了有机的集成，实现了更高效益、更高柔性的智能化生产，是当今自动化制造技术发展的最高阶段。

二、数控系统与数控系统的组成

为了对机械运动及加工过程进行数字化信息控制，必须具备相应的硬件和软件。用来实现数字化信息控制的硬件和软件的整体称为数控系统（Numerical Control System），数控系统的核心是数控装置（Numerical Control）。同时，数控系统是所有数控设备的核心。

数控系统的主要控制对象是坐标轴的位移（包括移动速度、方向、位置等），其控制信息主要来源于数控加工或运动控制程序。因此，作为数控系统的最基本组成应包括：程序的输入/输出装置、数控装置、伺服驱动这三部分。

（1）程序的输入/输出装置 输入/输出装置的作用是进行数控加工或运动控制程序、加工与控制数据、机床参数以及坐标轴位置、检测开关的状态等数据的输入、输出。键盘和显示器是任何数控设备都必备的最基本的输入/输出装置。此外，根据数控系统的不同，还可以配光电阅读机、磁带机或软盘驱动器等。作为外围设备，计算机是目前常用的输入/输出装置之一。

（2）数控装置 数控装置是数控系统的核心。它由输入/输出接口线路、控制器、运算器和存储器等部分组成。数控装置的作用是将输入装置输入的数据，通过内部的逻辑电路或控制软件进行编译、运算和处理，并输出各种信息和指令，以控制机床的各部分进行规定的动作。在这些控制信息和指令中，最基本的是坐标轴的进给速度、进给方向和进给位移量指令。它经插补运算后生成，提供给伺服驱动，经驱动器放大，最终控制坐标轴的位移。它直接决定了刀具或坐标轴的移动轨迹。

（3）伺服驱动 伺服驱动通常由伺服放大器（亦称驱动器、伺服单元）和执行机构等部分组成。在数控机床上，目前一般都采用交流伺服电动机作为执行机构；在先进的高速加工机床上，已经开始使用直线电动机。另外，在以前生产的数控机床上，也有采用直流伺服电动机的情况；对于简易数控机床，步进电动机也可以作为执行器件。伺服放大器的形式取决于执行器件，它必须与驱动电动机配套使用。

三、数控机床的特点

现代数控机床集高效率、高精度、高柔性于一身，具有许多普通机床无法实现的特殊功能，它具有如下特点：

1) 通用性强。在数控机床上加工工件时，一般不需要复杂的工艺装备，生产准备简单。

2) 加工精度高、质量稳定。在数控机床上综合应用了保证加工精度、提高质量稳定性的各种技术措施。

3) 生产效率高。数控机床具有良好的结构刚性，可进行大切削用量的强力切

削，有效地节省了机动时间，还具有自动变速、自动换刀、自动交换工件和其他辅助操作自动化等功能，使辅助时间缩短，而且无需工序间的检测和测量，所以数控机床的生产效率比一般普通机床高。

4) 自动化程度高。数控机床的加工是输入事先编写好的零件加工程序后自动完成的，除了装卸零件、安装穿孔带或操作键盘、观察机床运行之外，其他的机床动作直至加工完毕，都是自动连续完成的。

5) 经济效益好。数控机床虽然设备昂贵。加工时分摊到每个工件上的设备折旧费较高，但在单件、小批量生产的情况下，使用数控机床加工可节省划线工时，减少调整、加工和检验的时间，节省直接生产费用和工艺装备费用。

6) 采用数控机床是实现柔性制造系统（FMS）、计算机辅助设计（CAD）与计算机辅助制造（CAM）一体化的基础，是实现计算机生产管理的基础，是使用计算机技术对机械制造业进行全面技术改造的基础。

四、数控机床的发展趋势

随着科学的发展，现代机械制造要求产品的形状与结构不断改进，对零件加工质量的要求越来越高，尤其是随着 FMS 的迅猛发展与 CIMS 的兴起并成熟，对数控机床提出了更高的要求，现代数控机床正在向着更高智能、更高速度、更高精度、更高可靠性、更高柔性化、更高自动化、更多功能的方向发展。

第二节 数控车床的概念

数控车床（见图 2-1-2）即装备了数控系统的车床或采用了数控技术的车床。一般是将事先编好的加工程序输入到数控系统中，由数控系统通过伺服系统去控制车床各运动部件的动作，加工出符合要求的各种形状的回转体零件。

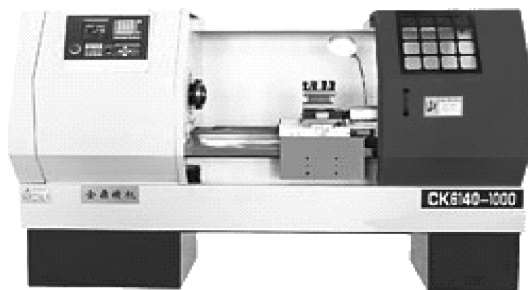


图 2-1-2 数控车床

车床主要用于进行车削加工，在车床上一般可以加工各种回转表面，如内外圆柱面、圆锥面、成形回转表面及螺纹面等。在数控车床上还可加工高精度的曲面与端面螺纹。用的刀具主要是车刀、各种孔加工刀具（如钻头、铰刀、镗刀等）

及螺纹刀具。车床主要用于加工各种轴类、套筒类和盘类零件上的回转表面。数控车床加工零件的尺寸精度可达 IT5 ~ IT6，表面粗糙度可达 $Ra\ 1.6\mu\text{m}$ 以下。

数控车床与普通车床一样，也是用来加工零件旋转表面的。一般能够自动完成外圆柱面、圆锥面、球面以及螺纹的加工，还能加工一些复杂的回转面，如双曲面等。数控车床和普通车床的工件安装方式基本相同，为了提高加工效率，数控车床多采用液压、气动和电动卡盘。数控车床的外形与普通车床相似，即由床身、主轴箱、刀架、进给系统、冷却和润滑系统等部分组成。数控车床的进给系统与普通车床有质的区别，传统普通车床有进给箱和交换齿轮架，而数控车床是直接由伺服电动机通过滚珠丝杠驱动溜板和刀架实现进给运动的，因而进给系统的结构大为简化。

第三节 数控车床的分类

一、按照控制方式分类

1. 开环控制系统

开环控制系统是指不带位置反馈装置的控制系统。由功率步进电动机作为驱动器件，运动系统是典型的开环控制系统。数控装置根据所要求的运动速度和位移量，向环形分配器和功率放大电路输出一定的频率和数量的脉冲，不断改变步进电动机各绕组的供电状态，使相应坐标轴的步进电动机转过相应的角位移，再经过机械传动链，实现运动部件的直线移动或转动，运动部件的速度与位移量是由输入脉冲的频率和脉冲数所决定的。开环控制系统具有结构简单、工作稳定、价格低廉等优点。但通常输出扭矩值的大小受到了限制，而且当输入较高脉冲频率时，容易产生问题，难以实现运动部件的快速控制，不能进行误差校正，步进电动机的步距角误差、齿轮和丝杠组成的传动链误差都将直接影响零件加工的精度。目前，开环控制系统已经不能充分满足数控车床日益提高的对控制功率、快速运动速度和加工精度的要求。开环控制系统框图如图 2-1-3 所示。

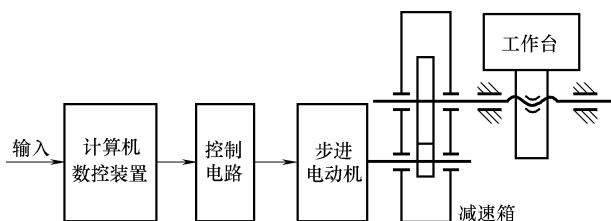


图 2-1-3 开环控制系统框图

2. 半闭环控制系统

半闭环控制系统是在开环控制系统的电动机轴上装有角位移检测装置,通过检测伺服电动机的转角,间接地检测运动部件的位移或角位移值,并反馈给数控装置的比较器,与输入指令进行比较,用差值控制运动部件。随着脉冲编码器的迅速发展和性能的不断完善,作为角位移检测装置可以方便地直接与直流或交流的伺服电动机同轴安装,特别是高分辨率的脉冲编码器的诞生,为半闭环控制提供了一种高性能价格比的配置方案。由于惯性较大的机床运动部件不包括在该环之内,所以控制系统的调试十分方便,并且具有良好的系统稳定性,甚至可将脉冲编码器与伺服电动机设计成一个整体,使系统变得更加紧凑。但由于半闭环控制将运动部件的机械传动链不包含在闭环之内,所以机械传动链的误差无法得到校正或消除。但目前广泛采用的滚珠丝杠螺母结构具有很高的精度和精度保持性,而采用可靠的消除反向运动间隙,完全可以满足大多数数控机床用户的需要,并且该控制系统具有调试方便、稳定性良好、成本低,并兼顾开环控制系统与闭环控制系统两者的特点。所以,在一般情况下,半闭环控制系统正在成为首选的控制方式被广泛地使用。半闭环控制系统框图如图 2-1-4 所示。

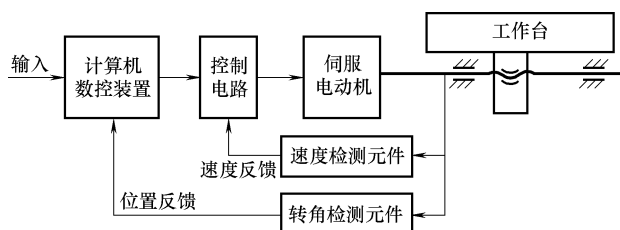


图 2-1-4 半闭环控制系统框图

3. 闭环控制系统

闭环控制系统是在机床最终的运动部件的相应位置上直接安装回转式检测装置,将直接检测到的位移或角位移值反馈到数控装置的比较器中,与输入指令位移量进行比较,用差值控制运动部件,使运动部件严格按实际需要的位移量运动。闭环控制系统主要的优点是将机械传动链的全部环节都包括在闭环之内,因而从理论上说,闭环控制的运动精度主要取决于检测装置的精度,而与机械传动链的误差无关。其控制精度超过半闭环控制系统,但闭环控制系统除了价格昂贵之外,对于机床结构与传动链,仍然提出了严格的要求,传动链的刚度、间隙、导轨的低速运动特性,以及机床结构的抗振性等因素都会增加系统调试的困难,甚至使伺服系统产生振荡,降低了稳定性。闭环控制的特点是加工精度高、移动速度快。这类数控机床采用直流伺服电动机或交流伺服电动机作为驱动元件,电动机的控制电路比较复杂,检测元件价格昂贵,因而调试和维修比较复杂,成本高。闭环控制系统框图如图 2-1-5 所示。

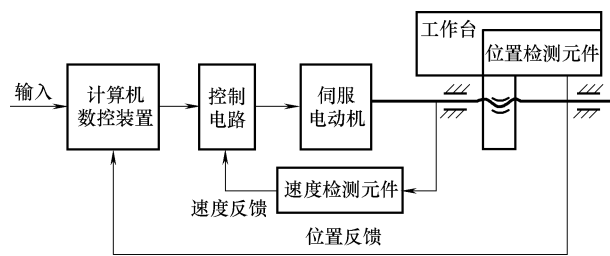


图 2-1-5 闭环控制系统框图

二、按照数控系统的功能分类

按照数控系统的功能水平不同，通常把数控系统分为低、中、高三类。低、中、高三档的界限是相对的，不同时期，划分的标准也不同。就目前的发展水平来看，可按照表 2-1-1 的一些功能及指标，将各种类型的数控系统进行分类。其中，中档一般称为全功能数控或标准型数控。经济型数控属于低档数控，是指由单片机和步进电动机组成的数控系统，或其他功能简单、价格低的数控系统，经济型数控主要应用于数控车床。

表 2-1-1 数控系统不同档次的功能和指标

功 能	低 档	中 档	高 档
系统分辨率	10 μ m	1 μ m	0.1 μ m
G00 速度	3 ~ 8m/min	10 ~ 24m/min	24 ~ 100m/min
伺服类型	开环，步进电动机	半闭环，直、交流伺服	闭环，直、交流伺服
联动轴数	2 ~ 3 轴	2 ~ 4 轴	5 轴或 5 轴以上
通信功能	无	RS232 或 DNC	RS232、DNC、MAP
显示功能	数码管显示	CRT 显示；图形、人机对话	CRT 显示；三维图形、自诊断
内装 PLC	无	有	强功能内装 PLC
主 CPU	8 位、16 位 CPU	16 位、32 位 CPU	32 位、64 位 CPU
结构	单片机、单板机	单微处理机或多微处理机	分布式多微处理机

1. 低档数控系统

低档数控系统一般采用 8 位 CPU 单片机，联动轴数在 3 根以下，分辨率为 10 μ m，进给速度在 6 ~ 8m/min 之间，采用步进电动机驱动，一般不具有通信系统，用数码管或简单 CRT 显示字符。我国最初阶段的经济型数控系统大多数是开环数控系统。

2. 中档数控系统

中档数控系统一般采用 16 位或更高性能的 CPU，联动轴数在 5 根以下，分辨率为 1 μ m，进给速度小于或等于 24m/min，采用交、直流伺服驱动，具有 RS232

或 DNC 通信接口, 有 CRT 字符显示和图形显示功能。

3. 高档数控系统

高档数控系统一般采用 32 位或更高性能的 CPU, 联动轴数在 5 根以上, 分辨率小于或等于 $0.1\mu\text{m}$, 进给速度一般大于等于 $24\text{m}/\text{min}$ ($1\mu\text{m}$ 时) 或大于等于 $10\text{m}/\text{min}$ ($0.1\mu\text{m}$ 时), 采用数字化交流伺服驱动, 具有 MAP 等高性能通信接口, 有联网功能, 具有三维动态图形显示功能。

三、按照加工工艺方法分类

1. 普通数控车床

普通数控车床是在普通车床的基础上, 增加了数控系统和伺服驱动系统, 从而形成能够按照预定的程序, 自动完成预定加工过程的车床。普通数控车床是指加工用途、加工工艺相对单一的数控车床, 在机械制造行业数量较多, 通常称为经济型数控车床, 如图 2-1-6 所示。

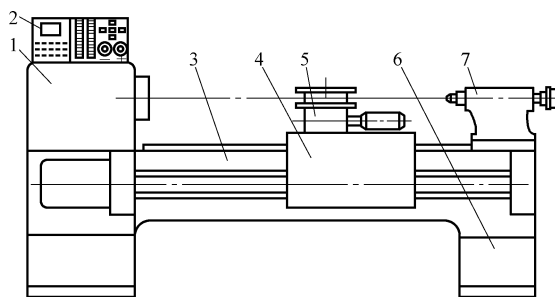


图 2-1-6 普通数控车床

1—主轴箱 2—控制面板 3—床身 4—刀架滑板
5—转塔刀架 6—底座 7—尾座

普通数控车床采用较低的配置形式, 使其具有较大的价格优势, 与传统的同类车床相比, 具有精度一致性好、生产率和自动化程度高的特点。但在机械结构上没有改变普通车床 Z 向驱动偏心引起的执行机构变形和导轨承载面不均匀磨损的问题, 普遍使用的滑动导轨也不能适用高负载系数的自动化生产过程, 四方刀架较少的装刀数量也限制了车床加工工艺能力的范围。

2. 多功能数控车床

多功能数控车床采用倾斜床身或平床身斜滑轨, 具有回轮式刀架, 使用滚动导轨支撑刀架溜板。在回轮式刀架上装备有 10 把以上车削刀具或孔加工刀具, 回轮式刀架上刀具的转位可由液压马达或伺服电动机驱动, 尾座可根据需要由液压装置控制其运动, 如图 2-1-7 所示。

采用倾斜床身的多功能数控车床刚性好、排屑方便, 高温切削对运动导轨的不均匀变形影响较小, 倾斜床身的截面可以形成封闭的腔形结构, 其型腔内部可

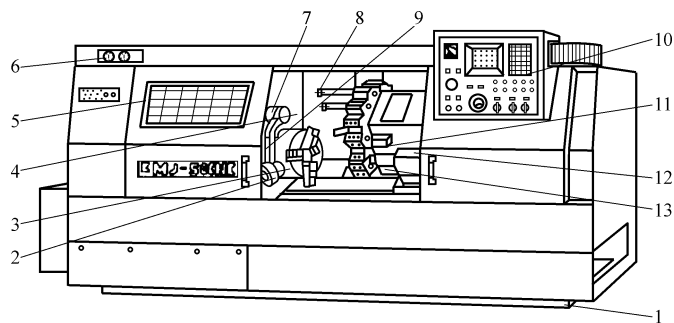


图 2-1-7 多功能数控车床

- 1—床身 2—对刀仪 3—主轴卡盘 4—主轴箱 5—防护门
6—压力表 7—对刀仪防护罩 8—防护罩 9—对刀仪转臂
10—操作面板 11—回转刀架 12—尾座 13—滑板

以填充泥芯或混凝土等阻尼材料，在加工中利用阻尼材料的摩擦耗散振动能量，减少振动对表面加工质量的影响。在多功能数控车床上通常配有自动排屑器，主轴电动机和进给电动机功率更大，其性能配置更适合精密、大批量生产模式。

3. 车削加工中心

数控车床可以加工各种回转表面，但如果圆周表面或端面上需要加工键槽或端面孔，就要移动到其他机床上加工。在很多情况下，出于加工精度的要求，零件是不允许拆卸、重新定位装夹和更换机床的。对于这种以回转面为主要加工内容，兼顾有圆周表面或端面上加工的零件，车削加工中心就可以完成其加工过程。

车削加工中心床身均为倾斜结构，主轴使用交流伺服电动机或电主轴结构，主轴的最高转速可达到 6000r/min 以上，以满足精加工的需要，如图 2-1-8 所示。为了扩展其工艺范围，在回轮式刀架上配备有多功能的动力刀头，不但可以装夹外圆车刀，还可以装夹自驱动的铣刀、钻头、丝锥等工具，以完成圆周表面或端面上的各种加工。回轮式刀架的转位使用交流伺服电动机驱动，换刀时间短，机床的尾座使用 PLC 可编程序控制器控制其工作位置，使用方便。对直径尺寸影响较大的 X 轴较多采用光栅闭环控制，以提高其加工精度。在机床上通常装有自动对刀仪，由控制指令操作，使其完成对加工刀具的测量，并将测量结果自动补偿到加工过程中。

车削加工中心除具有常规的 X 轴与 Z 轴外，均具有 C 轴功能（主要在加工过程中同时作为旋转坐标轴使用），与铣削动力头的配合可以在工件上完成特殊型面的加工，如圆柱面凸轮槽、端面凸轮槽等。在部分车削加工中心上，还具有 Y 轴功能和 B 轴功能，使其机床的工艺范围进一步扩大。

4. FMC 数控车床

FMC 数控车床是由数控车床与机器人等构成的系统，如图 2-1-9 所示。它能实现工件搬运、装卸的自动化和加工调整准备的自动化操作。

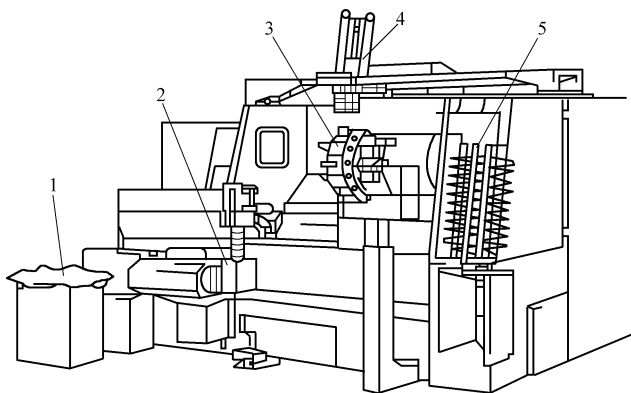


图 2-1-8 车削加工中心

1—零件库 2—上下料机械手 3—转塔刀架 4—换刀机械手 5—刀库

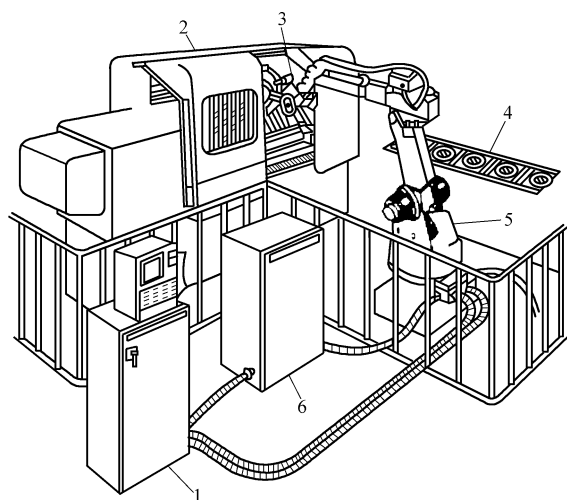


图 2-1-9 柔性加工单元

1—机器人控制柜 2—NC 车床 3—卡爪 4—工件 5—机器人 6—NC 控制柜

四、按照刀架和主轴数量分类

(1) 单刀架单主轴数控车床 数控车床上一般配备有各种形式的单刀架，如四工位卧式转位刀架或多工位转塔式自动转位刀架，只有一个主轴。

(2) 双刀架单主轴数控车床 数控车床的双刀架配置既可以平行分布，也可以相互垂直分布，还可以同时加工一个零件的不同部分。

(3) 单刀架双主轴数控车床 一般数控车床上只有一个主轴，但这种车床上配备有一个副主轴，工件在前主轴上加工完毕，副主轴可以向前移动，将工件交换转移至副主轴上，对工件进行完整加工。

(4) 双刀架双主轴数控车床 这种数控车床有两个独立的主轴和两个独立的刀架，加工方式灵活多样，可以两个刀架同时加工一个主轴上零件的不同部分，提高加工效率，也可以两个刀架同时加工两个主轴上的相同零件，相当于两个数控车床同时工作，还可以两主轴分别使用独立的刀架对工件进行完整的加工。

五、按照主轴的配置形式分类

1. 卧式数控车床

卧式数控车床是指主轴轴线处于水平位置的数控车床，它能自动加工各种轴类、套类、盘类等复杂的内外回转表面的零件，但该车床车削工件的直径大小受到床身导轨的限制，工件越大，主轴及其轴承承受的弯矩越大，难以保证精度，所以一般加工小型零件。该机床的导轨结构一般使用倾斜导轨结构，保证其机床刚性，并便于排屑，如图 2-1-10 所示。



图 2-1-10 卧式数控车床

2. 立式数控车床

立式数控车床是指主轴轴线处于垂直位置的数控车床。该车床的工作台装在底座上，工件装夹在工作台上，并由工作台带动旋转。进给运动由垂直刀架和侧刀架实现。该车床主轴垂直于被加工工件上方，便于工件装夹、拆卸，主轴轴承不承受工件、花盘等重力产生的弯矩，工件及工作台的重量由导轨与推力轴承承受。立式数控车床适用于加工大型盘类、套类、壳体类零件，加工时具有较高的精度与生产率，如图 2-1-11 所示。



图 2-1-11 立式数控车床

第四节 数控车床的特点

一、对加工对象的适应性强

由于在数控车床上改变加工零件时，只需要重新编制程序就能实现新零件的加工，它不同于传统的车床，不需要制造、更换许多的工具、夹具和量具，更不需要重新调整车床。因此，数控车床可以快速地从加工一种零件转变为加工另一种零件，这就为单件、小批量以及试制新产品提供了极大的便利，不仅缩短了生产准备周期，而且节约了大量工具的费用。

二、加工精度高

数控车床是以数字的形式给出的指令进行加工的，由于目前数控装置的脉冲当量（即每输出一个脉冲后数控机床的移动部件相应的移动量）一般可以达到 0.001mm ，而且进给传动链的反向间隙与丝杠螺距误差等均可由数控装置进行补偿，因此数控车床能达到较高的加工精度和质量稳定性。这是由于数控机床结构设计采取了必要的措施，以及机电结合的特点所决定的。首先是在结构上引用了滚珠丝杠螺母结构、各种消除间隙结构等，使机械传动的误差尽可能减小；其次是采用了软件精度补偿技术，使机械误差进一步减小；第三是用程序控制加工，减小了人为因素对加工精度的影响。这些措施不仅保证了较高的加工精度，同时还保证了较高加工质量的稳定性。

三、生产效率高

零件加工所需要的时间包括机动时间与辅助时间两部分。数控车床能够有效地减少这两部分时间，因此加工生产率比一般的车床高得多。数控车床主轴转速和进给量的范围比普通车床的范围大，每一道工序都能选用最合适的切削用量，同时良好的结构刚度也允许数控车床进行大切削用量的强力切削，有效地节约了机动时间。数控车床移动部件的快速移动和定位采用了加速与减速措施，因而选用了很高的空行程运动速度，消耗在快进、快退和定位的时间要比一般车床少得多。数控车床的加工精度比较稳定，一般只作首件检验与工序间关键尺寸的抽样检查，因而可以减少停机检验的时间。在使用带有刀库和自动换刀装置的数控车削中心机床时，在一台车床上实现了多道工序的连续加工，减少了半成品的周转时间，生产效率的提高就更为明显。

四、良好的经济效益

使用数控车床加工零件时，分摊在每个零件上的设备费用是比较昂贵的。但

在单件、小批量的生产情况下，可以节约工艺装备费用、辅助生产工时、生产管理费用及降低废品率等，因此能够获得良好的经济效益。

五、自动化程度高

数控车床对零件的加工是按照事先编好的程序自动完成的，操作者除了操作面板、装卸零件、关键工序的中间测量以及观察机床的运动外，其他的机床动作直至加工完毕，都是自动连续完成的，不需要进行繁重的重复性手工操作，劳动强度与紧张程度均大为减小，劳动条件也得到相应的改善。

六、有利于生产管理的现代化

用数控车床加工零件，能准确地计算加工工时，并有效地简化了检验与工装夹具、半成品的管理工作。这些特点都有利于使生产管理现代化。

七、数控车床的缺点

数控车床在应用中也有不利的一面，如提高了起始经营阶段的投资，对设备维护要求较高，对操作人员的技术水平要求也较高。

第五节 数控车床的适用范围

数控车床与卧式车床一样，也是用来加工轴类或盘类的回转体零件，但由于数控车床是自动完成内外圆柱面、圆锥面、圆弧面、端面、螺纹等工序的切削加工，所以数控车床特别适合加工形状复杂的轴类或盘类零件。数控车床具有加工灵活、通用性强、能适应产品的品种和规格频繁变化的特点，能够满足新产品开发、小批量、生产自动化的要求，因此被广泛地应用到机械制造业。数控车床的应用范围确实在扩大，但它不能够完全代替其他类型的机床，也还不能以最经济的方式解决机械加工中的所有问题。因此，数控车床只在一定零件的加工范围内适用。数控车床的初始投资相对较大，由于系统的复杂性，又增加了维修费用，当数控车床故障时，不能及时排除，也会影响数控车床的利用率，这些因素都会增加综合生产费用。考虑到以上原因，在决定选用数控车床加工时，需要进行反复对比和仔细的经济分析，使数控车床发挥它最大的经济效益。

数控车床通常最适合以下零件的加工：

1) 多品种小批量生产的零件。如图 2-1-12a 所示为三类车床零件加工的批量数与加工费用的关系。从图中可以看出，零件加工批量的增大对于所选用的数控车床是不利的。原因在于数控车床费用昂贵，与大批量生产采用的专业机床相比其效率不够高。通常采用数控车床加工的合理生产批量（10 ~ 200 件），目前有向中批量发展的趋势。

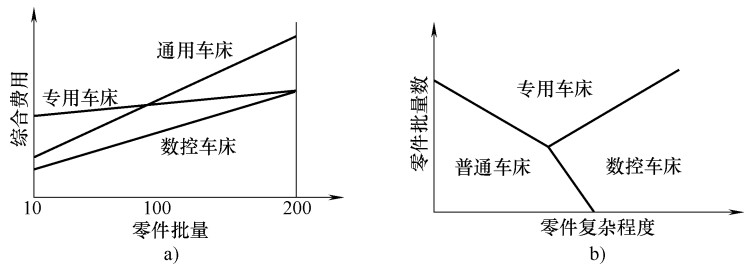


图 2-1-12 零件加工与机床的关系

a) 零件加工批量数与综合费用的关系 b) 零件复杂程度与批量数的关系

- 2) 结构较复杂的零件。图 2-1-12b 所示为三类车床的被加工零件复杂程度与零件批量大小的关系。通常数控车床适宜于加工结构比较复杂，在非数控车床上加工时需要有昂贵的工艺装备的零件。
- 3) 需要频繁改型的零件，数控车床节省了大量的工艺装备费用，使综合费用下降。
- 4) 价格昂贵、不允许报废的关键零件。
- 5) 需要最短生产周期的急需零件。

第六节 数控车床的组成

数控车床由程序编制及程序载体、输入装置、数控装置（CNC）、可编程序控制器 PLC、机床 I/O 电路、驱动装置及位置检测装置、辅助控制装置、伺服控制装置、数控车床本体等几部分组成，如图 2-1-13 所示。

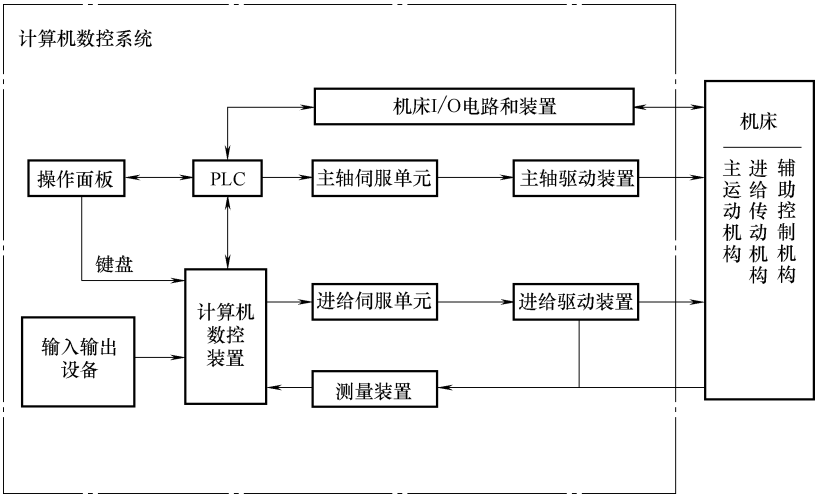


图 2-1-13 数控车床的组成

一、程序编制及程序载体

数控程序是数控车床自动加工零件的工作指令，在对加工零件进行工艺分析的基础上，确定零件坐标系在车床坐标系的相对位置，即零件在车床上的安装位置，刀具与零件相对运动的尺寸参数，零件加工的工艺路线，切削加工的工艺参数，以及辅助装置的动作等。得到零件所有运动、尺寸、工艺参数等加工信息后，用由文字、数字和符号组成的标准数控代码，按照规定的方法和格式，编制零件加工的数控程序单。编制程序的工作可由人工进行；对于形状复杂的零件，则要求在专用的编程机上进行自动编程（APT）或利用 CAD/CAM 系统产生程序。

编好的数控程序，存放在便于输入到数控装置的一种储存载体上，它可以是穿孔纸带、磁带、闪存卡等。闪存卡由于储存容量大、数据交流迅速和记录可靠，在开放式数控系统的新型数控车床上使用。

二、输入装置

输入装置的作用是将程序载体（信息载体）上的数控代码传递并存入数控装置内，输入装置是 CNC 系统与外部设备进行交互的装置。根据存储介质的不同，输入装置可以是光电阅读机、磁带机或软盘驱动器等。数控车床的加工程序也可以通过键盘用手工方式直接输入到数控系统之中，数控加工程序还可以由计算机编程通过 RS232C 或采用网络通信方式传送到数控系统中。零件加工程序输入的过程分为两种不同的方式：一种是边读入边加工（数控系统内存较小时）；另一种是一次将零件加工过程全部读入数控装置内部的存储器，加工时再从内部存储器中逐段调出进行加工。

三、数控装置

数控装置是数控车床的核心。数控装置从内部存储器中取出或接收输入装置送来的一段或几段数控加工程序，经过数控装置的逻辑电路或系统软件进行编译、运算和逻辑处理后，输出各种控制信息和指令，控制数控车床各个部分的工作，使其进行规定的有序动作和运动。

零件的轮廓图形往往由直线圆弧或其他非圆弧曲线组成，刀具在加工过程中必须按照零件形状和尺寸的要求进行运动，即按照图形轨迹移动。但是输入的零件加工程序只能是各线段轨迹的起点和终点坐标值等数据，不能满足要求，因此要进行轨迹插补，也就是在线段的起点和终点坐标值之间进行“数据点的密化”，求出一系列中间点的坐标值，并向相应坐标输出脉冲信号，控制各坐标值（即进给运动的各执行元件）的进给速度、进给方向和进给位移量等。

四、驱动装置及位置检测装置

驱动装置接收来自数控装置的指令信息，经功率放大后，严格按照指令信息的要求驱动数控车床的移动部分，以加工出符合图样要求的零件。因此，它的伺服精度和动态响应性是能影响数控车床的加工精度、表面质量和生产率的重要因素之一。驱动装置包括控制器（含功率放大器）和执行机构两大部分。目前大多采用直流或交流伺服电动机作为执行机构。位置检测将数控车床各坐标轴的实际位移量检测出来，经反馈系统输入数控车床的数控装置之后，数控装置将反馈回来的实际位移量值与设定值进行比较控制驱动装置按照指令设定值运动。

五、辅助控制装置

辅助控制装置主要的作用是接收数控装置输出的开关量指令信号，经过编译、逻辑判别和运算，在经功率放大后驱动相应的电器，带动数控车床的机械、液压、气动等辅助装置完成指令规定的开关量动作。这些控制包括主轴运动部件的变速、换向和起停指令，刀具的选择和交换指令，冷却、润滑装置的启动与停止，工件和机床部件的松开、夹紧等辅助动作。由于可编程序控制器（PLC）具有响应快、性能可靠、使用方便、编程和调试程序容易等特点，并可直接驱动部分数控机床电器，因此，被广泛用作数控车床的辅助控制装置。目前，大多数数控系统都带有内部 PLC，用于处理数控车床的辅助指令，从而简化了数控车床的辅助控制装置。

六、伺服控制装置

伺服控制装置接收来自数控装置的位置控制信息，将其转换成相应坐标轴的进给运动和精确定位运动。由于伺服控制装置是数控机床的最后控制环节，所以它的伺服精度和动态响应特性将直接影响数控车床的生产率、加工精度和表面加工质量。目前常用的伺服驱动器件有功率步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机等。由于交流伺服电动机具有良好的性能价格比，已成为首选的伺服驱动器件。除了三大类电动机外，伺服控制装置还必须包括相应的驱动电路。伺服电动机与脉冲编码器的组合构成了较理想的半闭环伺服系统，已经被广泛使用。

七、PLC、机床 I/O 电路等装置

PLC 可编程序控制器用于完成与逻辑运算有关顺序动作的 I/O 控制，它接收 CNC 的 M、S、T 指令，对其进行译码并转换成对应的控制信号，控制辅助装置完成数控车床上相应的开关动作。

机床 I/O 电路等装置是实现 I/O 控制的执行部件（由继电器、电磁阀、形成开关、接触器等组成的逻辑电路），它将接收操作面板和机床的 I/O 信号，经处理

后，输出指令，控制 CNC 系统的工作状态和数控车床的动作。

八、数控车床本体

数控车床本体与传统车床相似，由主轴传动装置、进给传动装置、床身、工作台以及辅助运动装置、液压装置、气动装置、冷却装置、润滑装置等组成。但数控车床特别是车削中心，在整体布局、外观造型、传动系统、刀具系统的结构以及操作机构等方面都已经发生了较大的变化，这种变化的目的是满足数控车床的要求和充分发挥数控车床的特点。

1) 采用高性能主传动及主轴部件。具有传动功率大、刚度高、抗振性好及热变形小等优点。

2) 进给传动采用高效传动件。具有传动链短、结构简单、传动精度高等特点，一般采用滚珠丝杠副、直线滚动导轨副等。

3) 具有完善的刀具自动交换和管理系统。

4) 车床本身具有很高的动、静刚度。

5) 采用全封闭罩壳。由于数控车床是自动完成加工，为了操作安全等，一般采用移动门结构的全封闭罩壳，对车床的加工部件进行全封闭。

第七节 数控车床的工作原理

用普通车床加工零件时，操作者依据工程图样的要求，不断改变刀具与工件之间相对运动的参数（位置、速度等），使刀具对工件进行切削加工，最终得到所需要的合格零件。数控车床的工作原理（用数控车床加工零件时），首先应将加工零件的几何信息和工艺信息编制成加工程序，由输入部分送入数控装置，经过数控装置的处理、运算，按各坐标轴的分量送到各轴的驱动电路，经过转换、放大去驱动伺服电动机，带动各轴运动，并进行反馈控制，使刀具与工件及其他辅助装置严格地按照加工程序规定的顺序、轨迹和参数有条不紊地工作，从而加工出零件的全部轮廓。

刀具沿各坐标轴的相对运动是以脉冲当量 σ 为单位（mm/脉冲）的。

当进给轨迹为直线或圆弧时，数控装置则在线段的起点和终点坐标值之间进行“数据点的密化”，求出一系列中间点的坐标值，然后按中间点的坐标值向各坐标输出脉冲数，保证加工出所需要的直线或圆弧轮廓。

数控装置进行的这种“数据点的密化”称为插补，一般数控装置都具有对基本函数（如直线函数和圆函数）进行插补的功能。对任意曲面零件的加工，必须使刀具运动的轨迹与该曲面完全吻合，才能加工出所需的零件。

数控车床的加工，其实质是应用了“微分”原理。其工作原理与过程（见图 2-1-14）如下：

1) 数控装置根据加工程序要求的轨迹, 将该轨迹按照数控车床对应的坐标轴, 以最小的移动量 (脉冲当量) 进行微分 (ΔX 、 ΔY), 并计算出各轴所需要的脉冲数。

2) 通过数控装置的插补软件或插补运算器, 把要求的轨迹用最小移动单位的等效折线进行拟合, 并找出最接近理论轨迹的拟合折线。

3) 数控装置根据拟合折线的轨迹, 给相应坐标轴连续不断的分配进给脉冲, 并通过伺服驱动使数控车床坐标轴按照分配的脉冲运动。

由此可见, 只要数控车床的最小移动量 (脉冲当量) 足够小, 所用的拟合折线就完全可以等效地代替理论曲线; 只要改变坐标轴的脉冲分配方式, 即可以改变拟合折线的形状, 从而达到改变加工轨迹的目的; 只要改变分配脉冲的频率, 即可改变坐标轴 (刀具) 的运动速度, 这样就实现了数控车床控制刀具移动轨迹的根本目的。

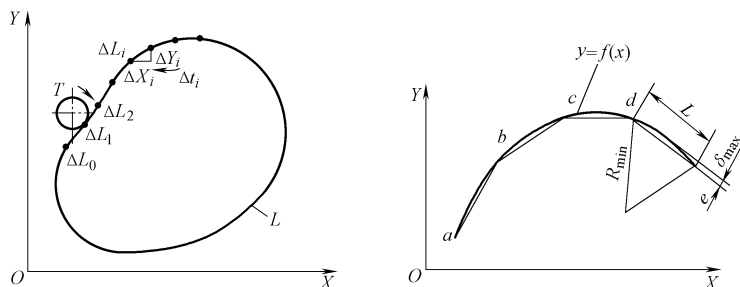


图 2-1-14 数控车床加工原理图、用直线逼近曲线图

第八节 数控车床的加工过程

数控车床加工零件的过程主要包括以下内容:

1) 根据被加工零件的图样与工艺方案, 用规定的代码与程序格式, 将刀具的移动轨迹、加工工艺过程、工艺参数、切削用量等编写成数控系统能够识别的指令格式, 即编写加工程序。

2) 将编写的加工程序输入数控装置, 即输入机床。

3) 数控装置对输入的程序 (代码) 进行译码、运算处理, 并向各坐标轴的伺服驱动装置和辅助功能控制发出相应的控制信号, 以控制数控车床各个部件运动。

4) 在运动过程中, 数控系统需要随时检测车床的坐标轴位置、行程开关的状态等, 并与程序的要求相比较, 以决定下一步的动作, 直到加工完成。

5) 操作者随时对数控车床的加工情况、工作状态进行观察与检查, 必要时还需要对车床动作和加工程序进行调整, 以保证车床安全、可靠的运行。

第九节 数控车床的精度

一、数控车床的几何精度

几何精度包括形状精度、相互位置的几何精度及其相对运动的几何精度。在车床上加工的工件表面形状是取决于刀具和工件之间的相对运动轨迹，而刀具与工件都是由数控车床的执行件直接带动的，因此数控车床的几何精度是确保加工精度的基本条件，每种类型的数控车床都有它自己的几何精度要求。几何精度一般包括：主轴的轴向窜动，主轴的径向圆跳动，各坐标方向移动的相互垂直度，主轴锥孔轴线与尾座锥孔轴线的等高度等。

二、数控车床的定位精度

定位精度指数控车床运动部件从一个位置运动到预期的另一个位置时所要求的实际位置的精度，实际位置与预期位置之间的误差称为定位误差。对于刀架等作周期转位运动的部件，其定位误差反映为角位移误差，与此对应，它的定位精度称为转位精度。若数控车床的运动部件从某一位置到另一位置作多次重复定位时，每次定位到达的实际位置之间的误差最大值，称为该运动部件的重复定位精度。机床的几何精度、传动精度和定位精度，一般是在没有切削载荷以及数控车床不运动或运动速度较低的情况下检测的，所以一般称为数控车床的静态精度。静态精度取决于数控车床上主要零、部件，如主轴及其轴承、丝杠螺母、齿轮、床身、箱体等的制造精度以及它们的装配精度。定位精度一般包括：直线运动定位精度；直线运动重复定位精度；直线运动机械原点返回精度；回转运动定位精度；回转运动重复定位精度；回转原点返回精度等。

三、数控车床的静态精度

静态精度只能在一定程度上反映数控车床的加工精度，因为数控车床在实际工作状态下，还有一系列因素会影响加工精度。例如零部件的弹性变形、热变形、机床的振动、机床运动部件以工作状态的速度运动时，其运动精度不同于低速检测的精度，所有这些都将引起数控车床静态精度的变化，影响工件的加工精度。数控车床的工作精度是在运动状态和切削力作用下的精度，即数控车床在工作状态下的精度，工作精度通过加工出来的试件精度来评定。该项精度也是实质上反映数控车床的几何精度与定位精度的综合指标，是通过加工零件反映出来的。

四、数控车床的传动精度

传动精度是指传动链内联系两端件之间相互关系的准确性。例如，卧式车床车螺纹传动链，必须确保主轴每转动一周时，刀架能准确地移动到被加工螺纹的一个导程，否则将会造成工件的螺纹误差（相邻螺距误差和一定长度内的螺距累积误差）。

数控车床典型结构

数控车床在现代化生产中，发挥着非常重要的作用，是现代化生产环节中不可或缺的重要组成部分，生产效率随着其技术水平的不断提高也在节节攀升。与普通车床相比，其在结构和传动等方面进行了许多的改进和提高。概括起来，主要表现在以下几个方面：

1. 高刚度

数控车床要在高速和重负荷条件下工作，因此，机床的床身、立柱、主轴、工作台、刀架等主要部件，均需具有很高的刚度，以减少工作中的变形和振动。

2. 高灵敏度

数控车床的运动部件具有较高的灵敏度。工作台、刀架等移动部件，由交流或直流伺服电动机驱动，使用滚珠丝杠传动，提高了定位精度和运动平稳性。导轨部件通常用滚动导轨、塑料导轨、静压导轨等，以减少摩擦力，使其在低速运动时无爬行现象。

3. 高抗振性

数控车床的一些运动部件，除具有高刚度、高灵敏度外，还具有高抗振性，即在高速、重切削情况下减小振动，以保证加工零件的高精度和高的表面质量。

4. 热变形小

工艺过程的自动化和精密加工的发展，对机床的加工精度和精度稳定性提出了越来越高的要求。机床的主轴、工作台、刀架等运动部件在运动中会产生热量，从而产生相应的热变形。为保证部件的运动精度，要求各运动部件的发热量要少，以防产生过大的热变形。

5. 高精度保持

数控车床应保持很高的设备完好率和运转率（比普通机床高 2 ~ 3 倍），这就要求数控车床有较高的使用寿命和精度保持性，在保证尽可能地减少电气和机械故障的同时，在长期使用过程中尽量不丧失精度。

6. 可靠性高

数控车床在自动或半自动条件下工作，尤其在柔性制造系统（FMS）中的数控车床，可在全天运转中实现无人管理，这就要求机床具有高的可靠性。为此，数控装置及机床结构的可靠性均较高，如在工作过程中动作频繁的换刀机构、托盘、工件交换装置等部件，必须保证在长期工作中十分可靠。另外，引入机床机构故障诊断系统和自适应控制系统、优化切削用量等，也都有助于机床可靠地工作。

第一节 数控机床的数控系统

数控装置是数控机床的中枢，在普通数控机床中一般由输入装置、存储器、控制器、运算器和输出装置组成。数控装置接收输入介质的信息，并将信息代码加以识别、储存、运算，再输出相应的指令脉冲驱动伺服系统，进而控制机床的运行动作。在 CNC 数控车床中，由于计算机本身即含有运算器、控制器等上述单元，因此其数控装置的作用由一台计算机来完成。

一、数控车床加工的运行环节

在数控加工过程中，数控装置（习惯称为数控系统）是对数控机床进行控制，并完成零件自动加工的专用 NC 系统。它接收数字化了的零件图样和工艺要求等信息，按照一定的数学模型进行插补运算，用运算结果实时地对机床的各运动坐标进行速度和位置控制，完成零件的加工。

数控机床的加工原理大致分为以下四个环节（见图 2-2-1）：

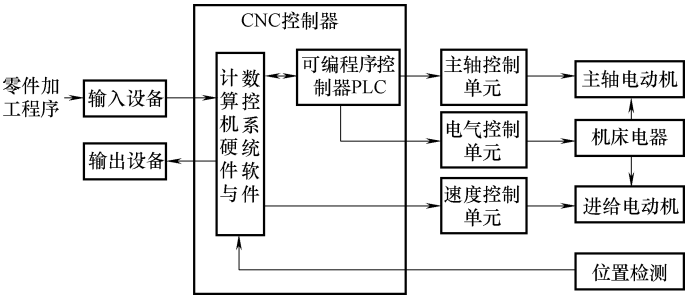


图 2-2-1 数控机床工作过程简图

- 1) 在数控机床上加工工件时，首先要根据加工零件的图样与工艺方案，用所使用数控系统规定的格式编写程序单，并且记录在程序载体上。
- 2) 把程序载体上的程序通过输入装置输入到数控装置中去。
- 3) 数控装置将输入的程序经过运算处理后，向机床各个坐标的伺服系统发出

信号。

4) 伺服系统根据数控装置发出的信号,通过伺服执行机构(如步进电动机、直流伺服电动机、交流伺服电动机),经传动装置(如滚珠丝杠螺母副等),驱动机床各运动部件,使机床按规定的动作顺序、速度和位移量进行工作,从而制造出符合图样要求的零件。

二、数控系统的工作组成

由数控机床的工作过程可知,数控机床的基本组成包括加工程序载体、数控装置、伺服驱动装置、机床主体和其他辅助装置。下面分别对各组成部分进行概要说明。

1. 加工程序载体

数控机床工作时,不需要操作人员像普通机床加工那样直接去操作机床,要对数控机床进行控制,必须编制加工程序。零件加工程序包括机床上刀具和工件的相对运动轨迹、工艺参数(进给量、主轴转速等)和辅助运动等。将零件加工程序用一定的格式代码,存储在一种程序载体上,通过数控机床的输入装置,将程序信息输入到 CNC 单元。

2. 数控装置

数控装置是数控机床的核心。现代数控装置均采用 CNC 形式,这种 CNC 装置一般使用多个微处理器,以程序化的软件形式实现数控功能,因此又称软件数控(Software NC)。CNC 系统是一种位置控制系统,它是根据输入数据插补出理想的运动轨迹,然后输出到执行部件加工出所需要的零件。因此,数控装置主要由输入、处理和输出三个基本部分构成。而所有这些工作都由计算机的系统程序进行合理的组织,使整个系统协调地进行工作。

(1) 输入装置 将数控指令输入给数控装置,根据程序载体的不同,相应有不同的输入装置。目前主要有键盘输入、存储卡输入、CAD/CAM 系统直接通信方式输入和连接上级计算机的 DNC(直接数控)输入。

1) 存储卡输入方式。可用存储卡读入零件程序,直接控制机床运动,也可以将存储卡内容读入存储器,用存储器中储存的零件程序控制机床运动。

2) MDI 手动数据输入方式。操作者可利用操作面板上的键盘输入加工程序的指令,它适用于单程序段或比较短的程序段的输入运行。

3) 在控制装置编辑状态(EDIT)下,用软件输入加工程序,并存入控制装置的存储器中,这种输入方法可重复使用程序。一般手工编程均采用这种方法。

4) 在具有会话编程功能的数控装置上,可按照显示器上提示的问题,选择不同的菜单,用人机对话的方法,输入有关的尺寸数字,就可自动生成加工程序。

5) 采用 DNC 直接数控输入方式。把零件程序保存在上级计算机中,CNC 系统一边加工一边接收来自计算机的后续程序段。DNC 方式多用于采用 CAD/CAM

软件设计的复杂工件并直接生成零件程序的情况。

(2) 信息处理 输入装置将加工信息传给 CNC 单元, 编译成计算机能识别的信息, 由信息处理部分按照控制程序的规定, 逐步存储并进行处理后, 通过输出单元发出位置和速度指令给伺服系统和主运动控制部分。CNC 系统的输入数据包括: 零件的轮廓信息 (起点、终点、直线、圆弧等)、加工速度及其他辅助加工信息 (如换刀、变速、切削液开关等), 数据处理的目的是完成插补运算前的准备工作。数据处理程序还包括刀具半径补偿、速度计算及辅助功能的处理等。

(3) 输出装置 输出装置与伺服机构相连。输出装置根据控制器的命令接收运算器的输出脉冲, 并把它送到各坐标的伺服控制系统, 经过功率放大, 驱动伺服系统, 从而控制机床按规定要求运动。

3. 伺服系统和测量反馈系统

伺服系统是数控机床的重要组成部分, 用于实现数控机床的进给伺服控制和主轴伺服控制。伺服系统的作用是把接收来自数控装置的指令信息, 经功率放大、整形处理后, 转换成机床执行部件的直线位移或角位移运动。由于伺服系统是数控机床的最后环节, 其性能将直接影响数控机床的精度和速度等技术指标, 因此, 对数控机床的伺服驱动装置, 要求具有良好的快速反应性能, 准确而灵敏地跟踪数控装置发出的数字指令信号, 并能忠实地执行来自数控装置的指令, 提高系统的动态跟随特性和静态跟踪精度。

伺服系统包括驱动装置和执行机构两大部分。驱动装置由主轴驱动单元、进给驱动单元和主轴伺服电动机、进给伺服电动机组成。步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机是常用的驱动装置。

测量元件将数控机床各坐标轴的实际位移值检测出来并经反馈系统输入到机床的数控装置中, 数控装置对反馈回来的实际位移值与指令值进行比较, 并向伺服系统输出达到设定值所需的位移量指令。

三、数控伺服系统的分类

数控机床伺服系统按照检测元件的检测位置不同进行分类, 可以分为以下三种类型:

1. 开环伺服系统

开环伺服系统 (见图 2-2-2) 驱动元件主要是功率步进电动机或电液脉冲马达。这两种驱动元件工作原理就是将数字脉冲转换为角度位移, 该系统无位置反馈系统, 不用位置检测元件实现定位, 而是靠驱动装置本身的精度控制, 转过的角度与指令脉冲的个数成正比关系, 运动速度由进给脉冲的频率决定。

开环系统的结构简单, 易于控制, 但精度差, 低速不平稳, 高速扭矩小。一般用于轻载、负载变化不大或经济型数控机床上。

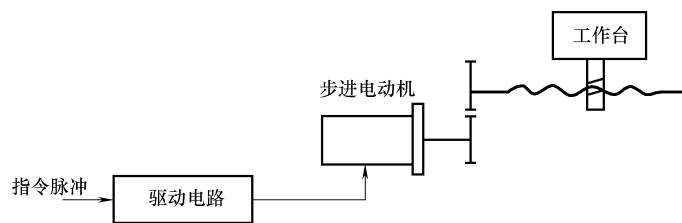


图 2-2-2 开环伺服系统

2. 闭环伺服系统

闭环系统属于误差控制随动系统（见图 2-2-3）。数控机床进给系统的差是 CNC 输出的位置指令和机床工作台（或刀架）实际位置的差值。闭环系统运动执行元件不能反映运动的位置，因此需要位置检测装置。该装置测出实际位移量或者实际所处位置，并将测量值反馈给 CNC 装置，与指令进行比较，求得误差，再行补偿，以此构成闭环位置控制。

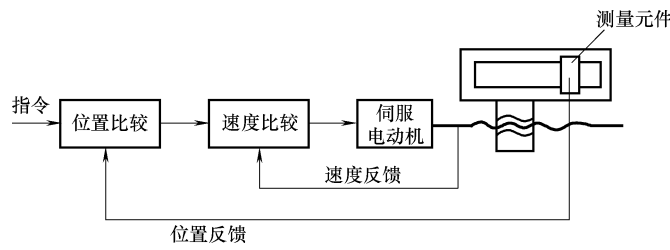


图 2-2-3 闭环伺服系统

由于闭环伺服系统是反馈控制，反馈测量装置精度很高，所以系统传动链的误差，环内各元件的误差以及运动中造成的误差都可以得到补偿，从而大大提高了跟随精度和定位精度。目前闭环系统的系统精度只取决于测量装置的制造精度和安装精度。

3. 半闭环系统

位置检测元件没直接安装在进给坐标的最终运动部件上（见图 2-2-4），而是经过中间机械传动部件的位置转换，称为间接测量。即坐标运动的传动链有一部分在位置闭环以外，在环外的传动误差没有得到系统的补偿，因而半闭环伺服系统的精度低于闭环系统。

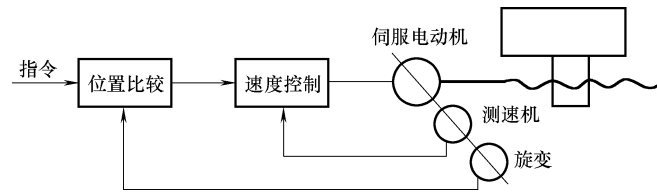


图 2-2-4 半闭环伺服系统

半闭环和闭环系统的控制结构是一致的，不同点只是闭环系统环内包括较多的机械传动部件，传动误差均可被补偿，理论上精度可以达到很高。但由于受机械变形、温度变化、振动以及其他因素的影响，系统稳定性难以调整。此外，机床运行下段时间后，由于机械传动部件的磨损、变形及其他因素的改变，容易使系统稳定性改变，精度发生变化。因此，目前使用半闭环系统较多。只在具备传动部件精密度高、性能稳定、使用过程温差变化不大的高精度数控机床上才使用全闭环伺服系统。

第二节 数控车床的主传动系统

主传动系统是实现机床主运动的传动系统，具有稳定的速比和一定的变速范围，并可在一定的范围内实现恒线速度运转，以适应不同的刀具材料和零件材料、零件不同形状、尺寸对加工参数的不同需求，并能方便地实现运动的开停、变速、换向和制动等。

数控车床主传动系统主要包括电动机、传动系统和主轴部件。它与普通机床的主传动系统相比在结构上更为简单，传动链大大缩短，变速功能全部或大部分由主轴电动机无级调速来实现，省掉复杂的齿轮变速机构。目前大部分数控车床只有二级或三级齿轮变速系统，主要用以扩大电动机无级调速的范围。

一、数控车床主传动系统的特点

1) 主轴变速迅速可靠，变速范围宽。由于采用直流和交流主轴电动机的调速系统日趋完善，所以不仅能够方便地实现宽范围无级变速，而且减少了中间传递环节，提高了变速控制的可靠性，从而获得最佳的生产率、加工精度和表面质量。

2) 转速高、功率大。主传动系统能够让数控车床获得较大的切削参数性能，进行大功率切削和高速切削，实现高效率加工。

3) 具有良好的精度保持性。主轴组件的耐磨性高，轴承、锥孔等都有足够的硬度，凡有机械摩擦的部位有良好的润滑系统作保证，因此数控机床主传动系统能够保证很高的传动精度，并可以长久保持。

二、数控车床的主轴驱动系统

数控车床的调速是按照 M 指令自动执行的，因此，变速机构必须适应自动操作的要求。在主传动系统中，多采用交流主轴电动机或直流主轴电动机无级调速系统。为了扩大主传动系统的调速范围，并且适应低速大转矩的要求，采用齿轮有级调速和电动机无级调速相结合的调速方式。

数控车床主传动系统主要有四种配置方式，见图 2-2-5。

1. 带有变速齿轮的主传动

大、中型数控机床采用这种变速方式，即通过少数几对齿轮降速传动，见图 2-2-5a，其设计主要是为了扩大输出转矩，以满足主轴低速时对输出转矩特性的要求。数控车床在交流或直流电动机无级变速的基础上配以齿轮变速，可以实现分段无级变速。滑移齿轮的移位大都采用液压缸加拨叉，或者直接由液压缸带动齿轮。

2. 通过带传动的主传动

如图 2-2-5b 所示，这种传动主要应用于转速较高、变速范围不大的机床，尤以经济型数控车床为常见。电动机本身的调速能够满足要求，不用齿轮变速，避免了齿轮传动引起的振动与噪声。它适用于高速、低转矩特性要求的主轴。常用的传动带是 V 形带和同步带。

3. 用两个电动机分别驱动主轴

如图 2-2-5c 所示，这种结构是 a、b 两种方式的混合传动，具有上述两种传动的综合性能。高速时电动机通过带轮直接驱动主轴旋转；低速时，另一个电动机通过两级齿轮传动驱动主轴旋转，齿轮起到降速和扩大变速范围的作用，这样就使恒功率区增大，扩大了变速范围，克服了低速时转矩不够且电动机功率不能充分利用的缺陷。

4. 内装电动机主轴传动结构

如图 2-2-5d 所示，这种主传动方式大大简化了主轴箱体与主轴的结构，有效地提高了主轴部件的刚度，但主轴输出转矩小，电动机发热对主轴影响较大，会直接影响零件的加工精度。

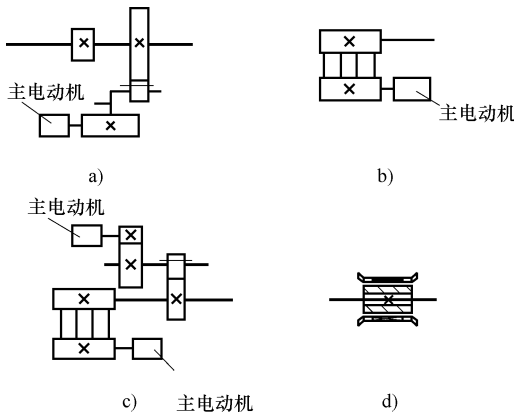


图 2-2-5 数控车床主传动系统的配置方式

a) 变速齿轮 b) 带传动 c) 双电动机分别驱动 d) 内装电动机主轴传动

三、数控车床主轴驱动系统分类

数控车床主轴驱动系统按驱动电动机类型不同可分为直流主轴驱动系统和交流主轴驱动系统两大类。

1. 直流主轴驱动系统

直流主轴驱动系统调速范围宽，采用直流主轴驱动的数控机床，在机械结构设计中，小型机床通常采用电动机与主轴直接或传动带变速的结构形式，中、大型机床通常只设置高速、低速两级机械变速机构，因此，主轴电动机的调速必须全部依赖主轴驱动器进行控制。

为保证数控机床的加工范围，使加工工艺相对集中，并达到理想的切削效果，主轴驱动器必须实现无级变速，且具有较宽的调速范围。

在结构上，直流主轴电动机为全封闭的结构形式，可以在有尘埃和切削液飞溅的工业环境中使用。

在冷却系统上，为了缩小体积，提高效率，直流主轴电动机采用了特殊的热管冷却系统，可以将转子产生的热量迅速地向外界发散。为了使电动机发热最小，直流主轴电动机定子采用了独特的附加磁极，以减小损耗。

2. 交流主轴驱动系统

目前，随着数控技术的不断革新和发展，很多数控车床都采用了交流主轴驱动系统，与直流主轴驱动系统相比，交流主轴驱动系统具有更加鲜明的特点：

1) 由于驱动系统采用了微处理器和现代控制理论进行控制，系统运行平稳，振动和噪声小，并且可以获得较大的调速范围和较高的低速转矩，可以较方便地与数控机床相配套。

2) 较大功率驱动系统采用了难度较大的“回馈制动”技术，在制动时，既可将电动机能量反馈回电网，起到节能的效果，又可以加快起动、制动速度。

3) 驱动器具有 D/A 转换器、实际转速/转矩信号输出、电气主轴“定向准停”等功能，可以方便地与各类 CNC 配套。

4) 电动机采用无外壳结构，定子硅钢片直接进行空气冷却，可以在浮尘、切削液飞溅的场合安全、可靠地工作。

5) 与直流电动机相比，交流主轴电动机在结构上无换向器，主轴电动机通常不需要进行维修。

6) 主轴转速的提高不受换向器的限制，最高转速通常比直流主轴高。

7) 主轴电动机的冷却空气由前端向后流动，可以有效减少电动机发热对机床精度的影响。

驱动电动机如图 2-2-6 所示。

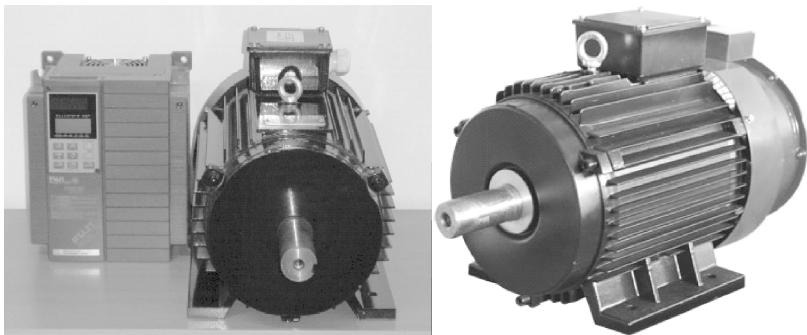


图 2-2-6 驱动电动机

第三节 数控车床的进给传动系统

数控机床伺服系统是以机床移动部件的位置和速度为控制量的自动控制系统，又称伺服机构。在数控机床上，伺服驱动系统接收来自插补装置或插补软件生成的进给脉冲指令，经过信号变换及电压、功率放大，将其转化为机床工作台相对于切削刀具的运动。目前，这主要通过对交、直流伺服电动机或步进电动机等进给驱动元件的控制来实现。

伺服系统是数控装置和机床的联系环节，是实现切削刀具与工件间运动的进给驱动和执行机构。伺服系统的性能，在很大程度上决定了数控机床的性能。例如，数控机床的最高移动速度、跟踪精度、定位精度等重要指标均取决于伺服系统的静态与动态性能。因此，高性能的伺服系统一直是现代数控机床的关键技术之一。为保证数控机床拥有高的加工精度，对伺服系统的进给传动系统提出了严格的要求，要求进给传动系统有高的传动精度、高的灵敏度（响应时间短）、工作稳定可靠、零部件具有高的刚度和使用寿命、很小的摩擦和运动惯量，并能自动消除传动间隙。

数控车床的进给传动系统无中间传动链，精度高，进给快，无长度限制；但散热差，防护要求特别高，主要用于高速机床。

一、伺服电动机

1. 对伺服电动机的要求

伺服系统的进给传动系统主要执行元件是伺服电动机。为了满足对伺服系统的要求，对伺服系统的执行元件——伺服电动机也就提出了高精度、快响应、宽调速和大转矩的要求：

1) 电动机在最低进给速度到最高进给速度范围内都能平静运转，转矩波动较小，尤其在最低转速时，仍有平稳的速度而无爬行现象。

2) 电动机硬负载特性, 应具有较长时间的较大过载能力, 以满足低速大转矩的要求。比如, 电动机能在数分钟内过载 4 ~ 6 倍而不损坏。

3) 为了满足快速响应的要求, 电动机应能随着控制信号的变化在较短时间内达到规定的速度。这要求电动机必须具有 4000rad/s^2 以上的加速度, 才能保证电动机在 0.2s 以内从静止起动到 1500r/min 。因此, 伺服电动机必须具有较小的转动惯量和大的堵转转矩, 机电时间常数和起动电压应尽可能的小。

4) 电动机应能承受频繁的起动、制动和反转。

2. 伺服电动机的分类

(1) 步进伺服电动机伺服进给系统 步进伺服电动机 (见图 2-2-7) 是一种将电脉冲信号转换成机械角位移的驱动元件。步进电动机是一种特殊的电动机, 一般电动机通电后都是连续转动的, 而步进电动机则有定位与运转两种状态。当有一个电脉冲输入时, 步进电动机就回转一个固定的角度, 这角度称为步距角, 一个步距角就是一步, 所以这种电动机称为步进电动机。又由于它输入的是脉冲电流, 也称为脉冲电动机。当电脉冲连续不断地输入, 步进电动机便跟随脉冲一步一步地转动, 步进电动机的角位移量和输入的脉冲个数严格成正比例, 在时间上与输入脉冲同步。因此, 只需控制输入脉冲的数量、频率及电动机绕组的通电顺序, 便可获得所需转角、转速和方向。在无脉冲输入时, 步进电动机的转子保持原有位置, 处于定位状态。步进电动机的调速范围广, 惯量小, 灵敏度高, 输出转角能够控制, 而且有一定的精度, 常用作开环进给伺服系统的驱动元件。与闭环系统相比, 它没有位置速度反馈回路, 控制系统简单, 成本大大降低, 与机床配接容易, 使用方便, 因而在对精度、速度要求不十分高的中小型数控机床上得到了广泛的应用。

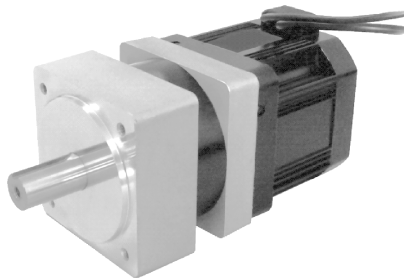


图 2-2-7 步进伺服电动机

步进伺服电动机分三种: 永磁式 (PM)、反应式 (VR) 和混合式 (HB), 一般用于经济型数控机床。

步进伺服电动机具有以下明显的特点:

- 1) 一般步进伺服电动机的精度为步进角的 3% ~ 5%, 且不累积。
- 2) 步进伺服电动机外表允许 $80 \sim 90^\circ\text{C}$ 高温仍能正常工作。
- 3) 步进伺服电动机的力矩会随转速的升高而下降。
- 4) 步进伺服电动机低速时可以正常运转, 但若高于一定速度就无法启动, 并伴有啸叫声。

(2) 直流伺服电动机伺服进给系统

由于数控机床对进给伺服驱动装置的要求较高, 而直流电动机具有良好的调速特性, 因此, 在半闭环、闭环伺服控制系统中, 得到较广泛的使用。就直流进给

伺服电动机（见图 2-2-8）工作原理来说，虽然其与普通直流电动机相同，然而，由于机械加工的特殊要求，一般的直流电动机是不能满足需要的。首先，一般直流电动机转子的转动惯量过大，而其输出转矩则相对较小，这样，它的动态特性就比较差，尤其在低速运转条件下，这个缺点就更突出。在进给伺服机构中使用的是经过改进结构，提高特性的大功率直流伺服电动机，主要有以下两种类型：



图 2-2-8 直流伺服电动机

1) 小惯量直流电动机。其主要结构特点是转子的转动惯量尽可能小，因此在结构上与普通电动机的最大不同是转子做成细长形且光滑无槽，表现为转子的转动惯量小，仅为普通直流电动机的 $1/10$ 左右。因此，响应特别快，机电时间常数可以小于 10ms 。与普通直流电动机相比，转矩与惯量之比要大出 $40 \sim 50$ 倍。且调速范围大，运转平稳，适用于频繁起动与制动，要求有快速响应（如数控钻床、压力机等点定位）的场合。但由于其过载能力差，并且电动机的自身惯量比机床相应运动部件的惯量小，因此应用时都要经过一对中间齿轮副，才能与丝杠相连接，在某些场合也限制了它的使用。

2) 大惯量直流电动机。大惯量直流电动机又称宽调速直流电动机，是在小惯量直流电动机的基础上发展起来的。在结构上和常规的直流电动机相似，其工作原理相同。当电枢线圈通过直流电流时，就会在定子磁场的作用下，产生带动负载旋转的电转矩。小惯量直流电动机从减小电动机转动惯量来提高电动机的快速性，而大惯量电动机则在维持一般直流电动机转动惯量的前提下，通过提高转矩的方法来改善其动态特性。它既具有一般直流电动机便于调速、机械特性较好的优点，又具有小惯量直流电动机的快速响应性能。因此，可归纳为以下特点：

① 转子惯量大。这种电动机的转子具有较大的惯量，容易与机床匹配。可以和机床的进给丝杠直接连接，省掉了减速机构，故可使机床结构简单，既避免了齿轮等传动机构产生的噪声和振动，又提高了加工精度。

② 低速性能好。这种电动机低速时输出转矩大，能满足数控机床经常在低速进给时进给量大、转矩输出大的特点，如能在 1r/min 甚至 0.1r/min 下平稳运转。

③ 过载能力强、动态响应好。由于大惯量直流电动机的转子有槽，热容大，采用了冷却措施后，提高了散热能力，因此可以过载运行 30min 。另外，

电动机的定子采用矫顽力很高的铁氧体永磁材料，可使电动机过载 10 倍而不会去磁，这就显著地提高了电动机的瞬间加速力矩，改善了动态响应，加减速特性好。

④ 调速范围宽。这种电动机机械特性和调速特性的线性度好，所以调速范围宽而运转平稳。一般调速范围可达 1:10000 以上。

大惯量直流电动机尽管有上述优点，但仍有不如其他驱动元件的地方，如运行调整不如步进电动机简便，快速响应性能不如小惯量电动机。这种驱动系统可直接配置高精度检测元件，如一些测量转速和转角等检测元件，实现半闭环、闭环伺服系统的精确定位。

(3) 交流伺服电动机伺服进给系统 尽管直流伺服电动机具有优良的调速性能，但直流电动机存在着不可避免的缺点：它的电刷和换向器易磨损，需经常维护；换向时易产生火花，使电动机的最高转速受到限制；也使应用环境受到限制；而且，直流电动机结构复杂，制造成本高。

随着大规模集成电路、计算机控制技术及现代控制理论的发展与应用，20 世纪 80 年代交流伺服驱动技术取得了突破性的进展，使得交流伺服电动机（见图 2-2-9）具备了调速范围宽、稳速、精度高、动态响应快以及其他良好的技术性能。交流电动机转子惯量较直流电动机小，动态响应更好，在一般同样体积下，交流伺服电动机的输出功率可比直流电动机提高 10% ~ 70%。

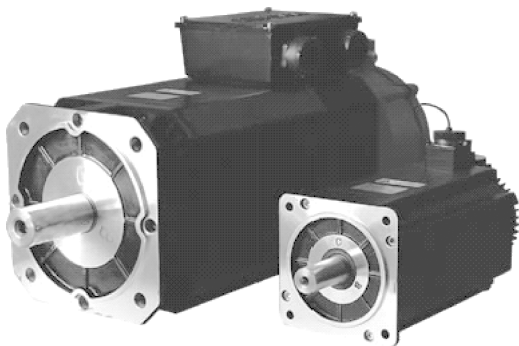


图 2-2-9 交流伺服电动机

交流伺服电动机采用了全封闭无刷构造，不需要定期检查与维修

定子，省去了铸造件壳体，比直流电动机在外形尺寸上减小了 50%，重量减轻近 60%，转子惯量减至 20%。定子铁心较一般电动机开槽多且深，绝缘可靠，磁场均匀，还可对定子铁心直接冷却，散热效果好，因而传给机械部分的热量少，提高了整个系统的可靠性。转子采用具有精密磁极形状的永久磁铁，可得到高的转矩与惯量之比。因此交流伺服电动机可得到比直流伺服电动机更好的机械性能和宽的调速范围，交流伺服以其高的性能、大容量得到了广泛的应用。

二、滚珠丝杠

在进行数控加工时，为了完成程序给定的运行轨迹，需要将伺服电动机输出的旋转运动转变成滑板的直线运动，这样就要通过丝杠螺母传动机构来实现。数控车床上一般采用滚珠丝杠，如图 2-2-10 所示，它可将滑动摩擦变为滚动摩擦，

满足进给系统减少摩擦的基本要求。该传动副传动效率高，摩擦力小，并可消除反向间隙，无空行程现象；但制造成本较高，且不能自锁，该机构尺寸受机床结构影响也不能太大，一般用于中小型数控机床的直线进给。

1. 滚珠丝杠的工作原理

在数控机床进给系统中一般采用滚珠丝杠螺母副来改善摩擦特性。滚珠丝杠螺母副（简称滚珠丝杠副）是一种在丝杠与螺母间装有滚珠作为中间元件的丝杠副，其结构如图 2-2-11 所示。为防止滚珠在工作过程中从螺母两端掉出，在螺母的螺纹滚道 4 上装有挡珠器 2（又叫回珠器或反向器）。回路管道 5 将滚珠 3 引回，构成滚珠连续工作的循环通道。



图 2-2-10 滚珠丝杠

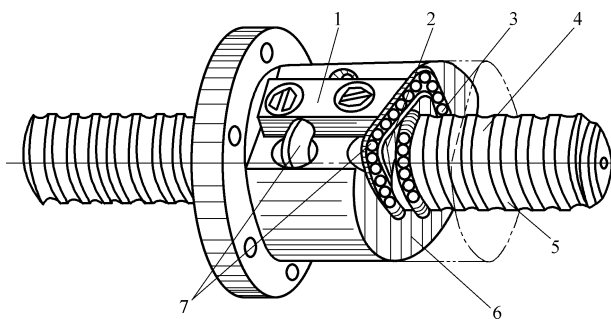


图 2-2-11 滚珠丝杠螺母副

1—压块 2—挡珠器 3—滚珠 4—螺纹滚道 5—丝杠 6—螺母 7—回路管道

2. 滚珠丝杠螺母副的优点

1) 传动效率高，滚动摩擦的摩擦损失小。传动效率 $\eta = 0.92 \sim 0.94$ ，是普通滑动丝杠 ($\eta = 0.20 \sim 0.40$) 的 3~4 倍。

2) 摩擦力小。因静、动摩擦因数小，所以传动灵敏、运动平稳、低速不易爬行、随动精度和定位精度高。

3) 可预紧。经预紧后可消除轴向间隙，有助于定位精度和刚度的提高，往复运动无空行程，反向定位精度高，且传动平稳。

4) 有可逆性。因为摩擦小，所以不仅可将旋转运动转换成直线运动，也可将直线运动转换为旋转运动，丝杠和螺母既可作为主动件，也可作为从动件。

5) 使用寿命长。滚珠丝杠副采用优质合金钢制成，其滚道表面淬火硬度达

60~62HRC，表面粗糙度值小，而且是滚动摩擦，故磨损很小，使用寿命长。因为滚珠丝杠副具有这些优点，所以在各类中、小型数控机床的直线进给系统中得到普遍应用。

3. 滚珠丝杠螺母副的缺点

- 1) 制造工艺复杂，成本高。滚珠丝杠、螺母、反向器等零件的加工精度和表面粗糙度要求高，故制造成本高。如丝杠螺母上的螺旋槽滚道一般都要求磨削成形表面，工艺复杂。
- 2) 不能实现自锁。由于其摩擦因数小，不能自锁，特别是垂直（立式）丝杠，由于自重和惯性或突然停断电而容易造成主轴箱等下滑，所以需要添加制动装置。

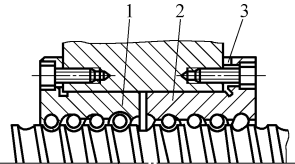
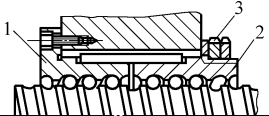
4. 滚珠丝杠副间隙的调整

滚珠丝杠的传动间隙是轴向间隙，其数值是指丝杠和螺母无相对转动时，二者之间的最大轴向窜动量。除了结构本身的游隙之外，还包括施加轴向载荷后产生的弹性变形所造成的轴向窜动量。

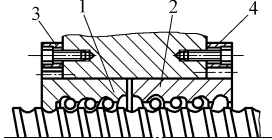
由于存在轴向间隙，当丝杠反向转动时，将产生空回误差，从而影响传动精度和轴向刚度。通常采用预加载荷（预紧）的方法来减小弹性变形所带来的轴向间隙，保证反向传动精度和轴向刚度。但过大的预加载荷会增加摩擦阻力，降低传动效率，缩短使用寿命。所以，一般需要经过多次调整，以保证既消除间隙又能灵活运转。调整时除螺母预紧外，还应特别注意使丝杠安装部分和驱动部分的间隙尽可能小，并且具有足够的刚度。

滚珠丝杠副的预紧方法有：双螺母垫片式预紧、双螺母螺纹式预紧、双螺母齿差式预紧、单螺母变导程自预紧和单螺母过盈滚珠预紧等几种。表 2-2-1 列出了前三种预紧方式的特点。

表 2-2-1 滚珠丝杠副的预紧方法

调整方式	简 图	调整方法	特 点
垫片式		改变垫片 3 的厚度，使螺母 2 相对于螺母 1 产生轴向位移	能较精确调整预紧量，结构简单，刚性好，工作可靠，但调整不方便，滚道磨损时不能随时进行调整
螺纹式		转动调整螺母 3，使螺母 2 产生轴向位移	结构简单，调整方便，滚道磨损时可随时进行调整，但预紧量不很精确

(续)

调整方式	简 图	调整方法	特 点
齿差式		在螺母 1 和 2 的凸缘上各加工有外齿轮，分别与固紧在套筒两端的内齿圈 3 和 4 相啮合， $z_1 = 23$ ， $z_2 = 4$ ，且 z_1 与 z_2 相差一个齿。两个螺母向相同方向转过一个齿，产生的轴向位移为 $S = \frac{P}{z_1 z_2}$ 。如 $z_1 = 99$ ， $z_2 = 100$ ，丝杠螺距 $P = 10\text{mm}$ 时， $S \approx 0.001\text{mm}$ ，即两个螺母同向转过一个齿在轴向产生 $1\mu\text{m}$ 的位移	能精确微调预紧量，工作可靠，滚道磨损时调整方便。但结构复杂，用于需获得准确预紧力的精密定位系统

5. 滚珠丝杠副的循环方式

常用的循环方式有外循环和内循环两大类。滚珠在循环过程中有时与丝杠脱离接触的称为外循环，如图 2-2-12、图 2-2-13 所示；始终与丝杠保持接触的称为内循环，如图 2-2-14、图 2-2-15 所示。

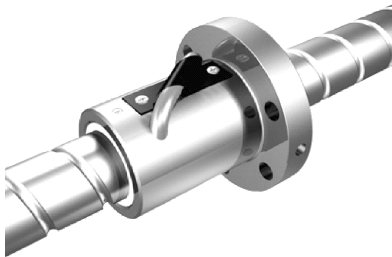


图 2-2-12 外循环插管式



图 2-2-13 双螺母外循环

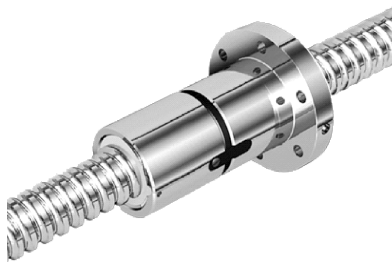


图 2-2-14 内循环端块式

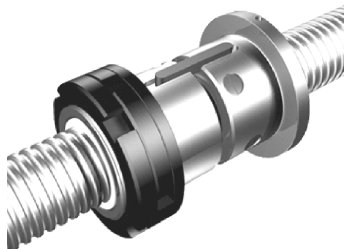


图 2-2-15 内循环浮动式

(1) 外循环 外循环是滚珠在循环过程结束后通过螺母外表的螺旋槽或插管

返回丝杠螺母间重新进入循环。

外循环滚珠丝杠螺母副按滚珠循环时的返回方式不同主要有端盖式、插管埋入式、插管突出式和螺旋槽式，如图 2-2-16 所示。

图 2-2-16a 所示为端盖式。在螺母末端加工出纵向孔，作为滚珠的回程管道，螺母两端的盖板上开有滚珠的回程口，滚珠由此进入回程管，形成循环。

图 2-2-16b 所示为插管式。它用弯管作为返回管道，在螺母外圆上装有螺旋形的插管口，其两端接入滚珠螺母工作始末两端孔中，以引导滚珠通过插管，形成滚珠的多圈循环链。这种形式结构简单，工艺性好，承载能力较强，但径向尺寸较大。目前应用最为广泛，也可用于重载传动系统中。

图 2-2-16c 所示为螺旋槽式。它在螺母的外圆上铣出螺旋槽，槽的两端钻出通孔并与螺纹管道相切，形成返回通道，这种结构径向尺寸较小，但制造较复杂。

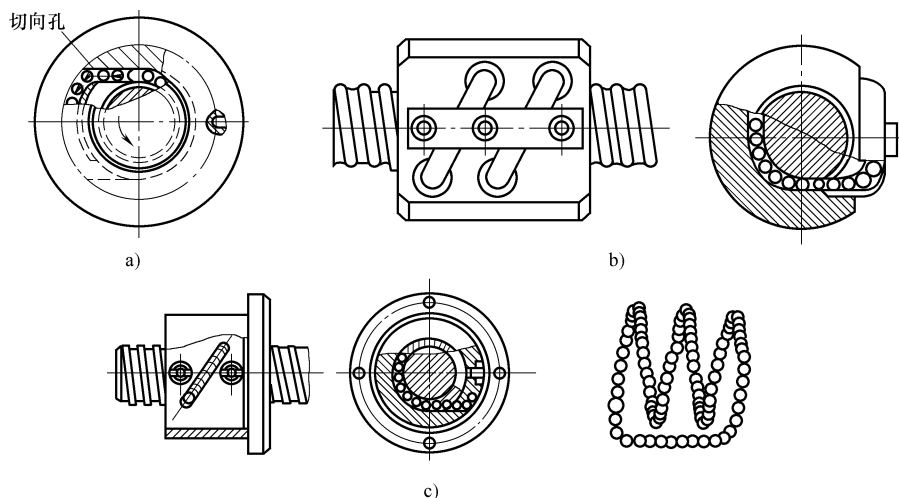


图 2-2-16 滚珠丝杠外循环方式

a) 端盖式 b) 插管式 c) 螺旋槽式

(2) 内循环 内循环滚珠丝杠如图 2-2-17 所示。内循环均采用反向器实现滚珠循环，它靠螺母上安装的反向器接通相邻两滚道，形成一个闭合的循环回路，使滚珠成单圈循环。反向器的数目与滚珠圈数相等，一般有 2~4 个，且沿圆周等分分布。这种类型的结构紧凑，刚度好，滚珠流通性好，摩擦损失小，效率高，适用于高灵敏、高精度的进给系统，不宜用于重载传动，且制造较困难。

反向器有两种类型：圆柱凸键反向器和扁圆镶块反向器。

圆柱凸键反向器如图 2-2-17a 所示，它的圆柱部分嵌入螺母内，端部开有反向槽。反向槽靠圆柱外圆面及其上端的圆键定位，以保证对准螺纹滚道方向。

扁圆镶块反向器如图 2-2-17b 所示，反向器为一般圆头平键形镶块，镶块嵌入螺母的切槽中，其端部开有反向槽，用镶块的外轮廓定位。

比较两种反向器，后者尺寸较小，从而减小了螺母的径向尺寸及缩短了轴向尺寸。但这种反向器的外轮廓和螺母上的切槽尺寸精度要求较高。

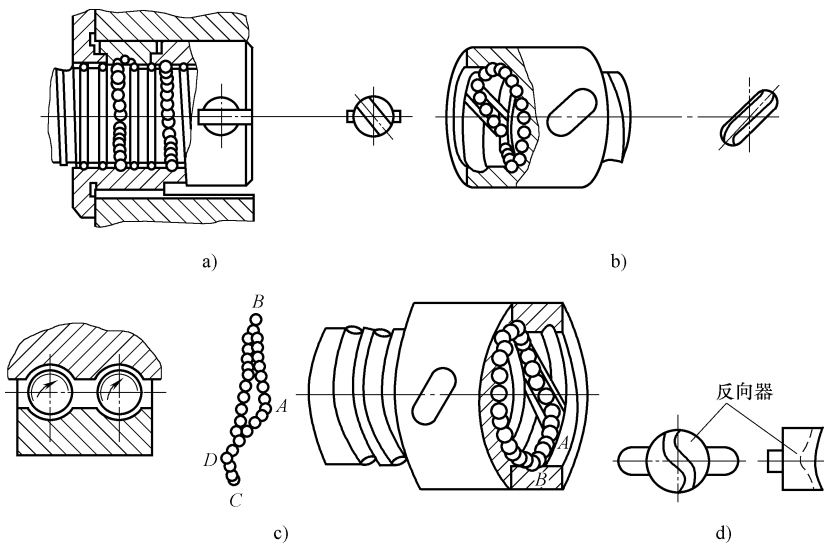


图 2-2-17 滚珠丝杠内循环方式

螺旋滚道型面（即滚道法向截形）的形状有多种，常见的截形有单圆弧型面和双圆弧型面两种。

螺旋滚道型面的简图如图 2-2-18 所示，图中钢球与滚道表面在接触点处的公法线与螺纹轴线的垂线间的夹角称为接触角 α ，理想接触角 $\alpha = 45^\circ$ 。

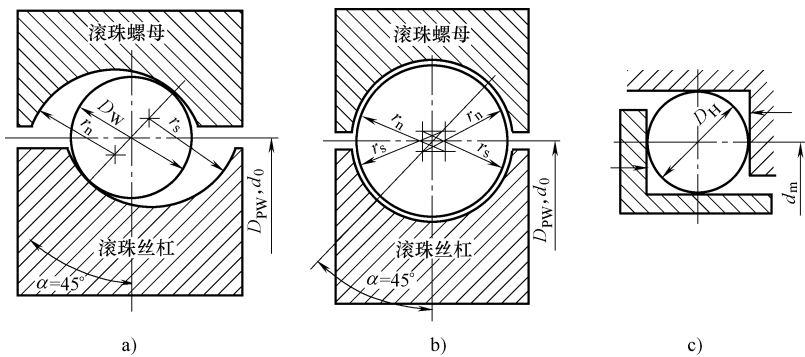


图 2-2-18 滚珠丝杠螺旋滚道型面形状

a) 单圆弧 b) 双圆弧 c) 矩形滚道

6. 滚珠丝杠的安装

为了保证滚珠丝杠副的传动刚度，选择合理的支承结构和正确安装方法是非常重要的。滚珠丝杠工作中主要承受轴向载荷，而径向载荷主要来源于卧式丝杠本身的自重，因此对滚珠丝杠的轴向精度和刚度在安装时要求较高。

选择适当的滚动轴承，提高支承的轴向刚度是很好的解决途径。安装中主要采用两种组合方式，一种是把推力轴承和角接触球轴承组合作用，有效地提高了轴向刚度，但增大了轴承摩擦阻力和发热，轴承支架结构尺寸较大；另一种是把角接触球轴承组合使用，结构简单，但轴向刚度不足。图 2-2-19 所示为一种专用接触角为 60° 的双向推力球轴承，它能承受很大的轴向力，轴向刚度比一般轴承高两倍以上，而且使用极为方便，已在中小型数控机床上得到较多应用。装配时只要用螺母和端盖将内环和外环压紧，就能获得出厂时已调好的预紧力。

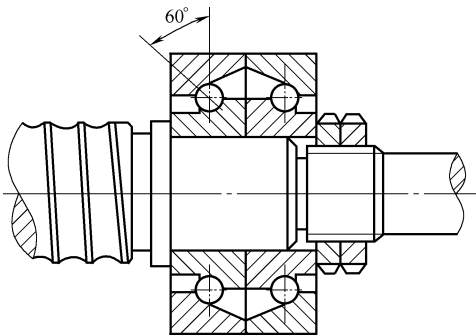


图 2-2-19 接触角为 60° 的双向推力球轴承

7. 滚珠丝杠的润滑与防护

为提高滚珠丝杠的耐磨性和传动效率，滚珠丝杠副应使用润滑油或润滑脂进行润滑。润滑油可用 N32 或 N46 号全损耗系统用油等，润滑脂可用锂基或高压 NSK 润滑脂。

此外，滚珠丝杠还需有效的防护密封，以防滚道上落入了硬质灰尘、切屑等硬质颗粒妨碍滚珠的正常运转，这样会加快滚珠丝杠副的磨损。常用的防护装置有：

(1) 密封圈 通常将毛毡圈内孔做成螺纹形状，使之紧密包住丝杠，并装入螺母或套筒两端，防尘效果较好，但有接触压力，使摩擦力矩变大。也可采用聚氯乙烯等塑料制成的非接触式迷宫密封圈，其内孔与丝杠螺纹滚道的形状相反，并有一定间隙，故不会增加摩擦力矩，但防尘效果较差。

(2) 防护罩 对暴露在外的丝杠，一般用螺旋钢带、伸缩套筒、锥形套筒、折叠式塑料或人造革等制成防护罩，以防止尘埃和磨粒粘附到丝杠表面。

第四节 数控车床的刀架系统

为了能在工件一次装夹中完成多个加工工序，以缩短辅助时间，减少多次安装工件所引起的定位误差，数控机床必须配置自动换刀装置。

自动换刀装置应当满足换刀时间短、刀具重复定位精度高、刀具储存量足够、

刀库占用空间小以及安全可靠等基本要求。

数控机床自动换刀装置类型很多，数控车床上使用的回转刀架是一种最简单的自动换刀装置。回转刀架上分别安装着四把、六把或更多的刀具，并按数控装置的指令换刀。回转刀架又有立式和卧式两种，立式回转刀架的回转轴与机床主轴成垂直布置，结构比较简单，经济型数控车床多采用这种刀架。根据加工对象不同，有四方刀架和六角刀架等多种形式。

回转刀架在结构上必须具有良好的强度和刚度，以承受粗加工时的切削抗力和减少刀架在切削力作用下的位移变形，提高加工精度。回转刀架还要选择可靠的定位方案和合理的定位结构，以保证回转刀架在每次转位之后具有高的重复定位精度（一般为 $0.001 \sim 0.005\text{mm}$ ）。

一、经济型数控车床方刀架

经济型数控车床方刀架是在普通车床四方刀架的基础上发展起来的一种自动换刀装置，其功能和普通四方刀架一样：有 4 个刀位，能装夹 4 把不同功能的刀具，方刀架回转 90° 时，刀具交换一个刀位，但方刀架的回转和刀位号的选择由加工程序指令控制。换刀时方刀架的动作顺序是：刀架抬起、刀架转位、刀架定位和夹紧刀架。为完成上述动作要求，要有相应的机构来实现。

经济型数控车床方刀架具体结构见图 2-2-20，该种刀架可以安装 4 把不同的刀具，换刀转位信号由加工程序指定。当换刀指令发出后，电动机 1 起动正转，通过平键套筒联轴器 2 使蜗杆轴 3 转动，从而带动蜗轮丝杠 4 转动。转位换刀时，中心轴固定不动，蜗轮丝杠环绕中心轴旋转。当蜗轮开始转动时，刀架体 7 抬起。当刀架体抬至一定距离后，端面齿脱开。转位套 9 用销钉与蜗轮丝杠 4 连接，随蜗轮丝杠一同转动。当端面齿完全脱开，转位套正好转过 160° （见图 2-2-20A - A 剖视图），球头销 8 在弹簧力的作用下进入转位套 9 的槽中，带动刀架体转位。刀架体 7 转动时带着电刷座 10 转动，当转到程序指定的刀号时，粗定位销 15 在弹簧的作用下进入粗定位盘 6 的槽中进行粗定位，同时电刷 13、14 接触导通，使电动机 1 反转。由于粗定位槽的限制，刀架体 7 不能转动，使其在该位置垂直落下，刀架体 7 和刀架底座 5 上的端面齿啮合，实现精确定位。电动机继续反转，此时蜗轮停止转动，蜗杆轴 3 继续转动，随夹紧力增加，转矩不断增大，达到一定值时，在传感器的控制下，电动机 1 停止转动。

译码装置由发信体 11，电刷 13、14 组成，电刷 13 负责发信，电刷 14 负责位置判断。刀架不定期出现过位或不到位时，可松开螺母 12，调好发信体 11 与电刷 14 的相对位置。

立式四方刀架结构紧凑（见图 2-2-21），维修调整较为方便，广泛应用在经济型数控车床上。回转刀架具有良好的强度和刚度，以承受粗加工的切削力，同时要保证回转刀架在每次转位的重复定位精度。

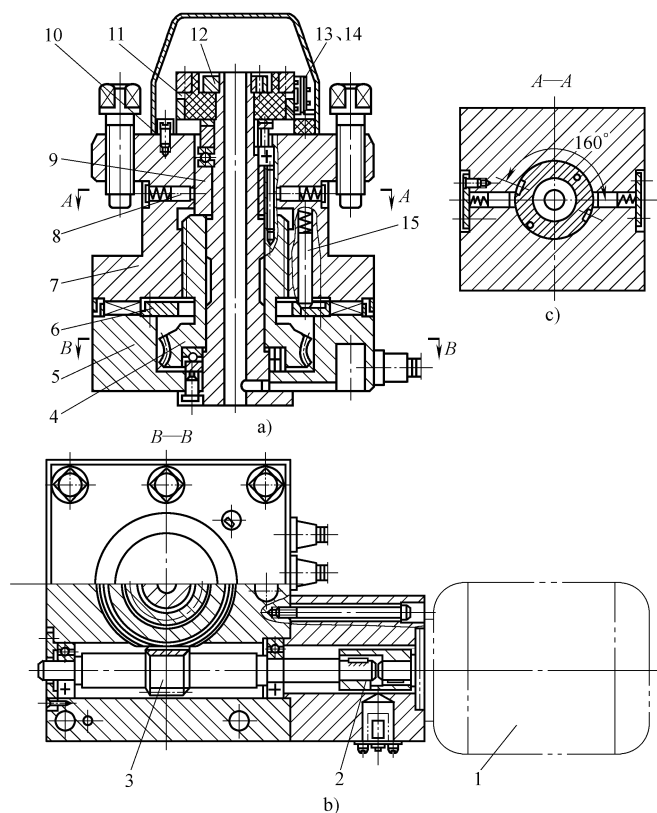


图 2-2-20 数控车床立式四方刀架结构

1—电动机 2—联轴器 3—蜗杆轴 4—蜗轮丝杠 5—刀架底座 6—粗定位盘 7—刀架体
8—球头销 9—转位套 10—电刷座 11—发信体 12—螺母 13、14—电刷 15—粗定位销



图 2-2-21 四方刀架

二、液压式回转刀架

现在较为先进的数控车床刀架还有液压式回转刀架（见图 2-2-22），以及车削中心和车铣复合中心所使用的液压式动力刀架（见图 2-2-23）。

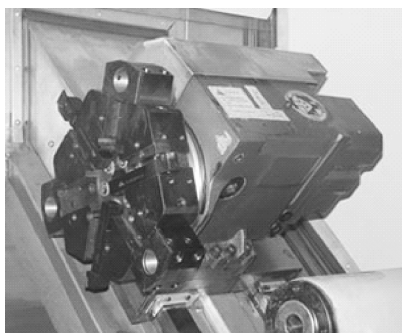


图 2-2-22 斜床身六工位回转刀架

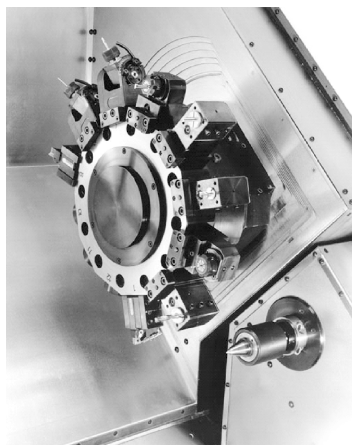


图 2-2-23 车铣复合中心动力头回转刀架

回转刀架的全部动作由液压系统通过电磁换向阀和顺序阀进行控制，它的动作分为四个步骤：

1. 刀架抬起

当数控装置发出换刀指令后，液压油由孔进入压紧液压缸的下腔，活塞上升，刀架体抬起，使定位用的活动插销与固定插销脱开。同时，活塞杆下端的端齿离合器与空套齿轮结合。

2. 刀架转位

当刀架抬起后，液压油从孔进入转位液压缸左腔，活塞向右移动，通过连接板带动齿条移动，使空套齿轮作逆时针方向转动，通过端齿离合器使刀架转过 60° 。活塞的行程应等于齿轮分度圆周长的 $1/6$ ，并由限位开关控制。

3. 刀架压紧

刀架转位之后，液压油从孔进入压紧液压缸上腔，活塞带动刀架体下降。齿轮的底盘上精确地安装有带斜楔的圆柱固定插销，利用活动插销消除定位销与孔之间的间隙，实现可靠定位。刀架体下降时，定位活动插销与另一个固定插销卡紧，同时齿轮与齿圈的锥面接触，刀架在新的位置定位并夹紧。这时，端齿离合器与空套齿轮脱开。

4. 转位液压缸复位

刀架压紧之后，液压油从孔进入转位液压缸的右腔，活塞带动齿条复位，由于此时端齿离合器已脱开，齿条带动齿轮在轴上空转。

如果定位和夹紧动作正常，推杆与相应的触头接触，发出信号表示换刀过程已经结束，可以进行切削加工。

回转刀架除了采用液压缸转位和定位销定位之外，还可以采用电动机带动离合器定位，以及其他转位和定位机构。

三、电动机驱动的转塔刀架

图 2-2-24 所示为一种电动机驱动的转塔刀架的结构图。定位用的是端齿盘结构。如图 2-2-25 所示，定齿盘 3 用螺钉及定位销固定在刀架体 4 上，动齿盘 2 用螺钉及定位销紧固在中心轴套 1 上（动齿盘左端面可安装转塔刀盘），两者之间有一个可轴向移动的齿盘 5，齿长为上述两者之和。其沿轴向左移时，合齿定位、夹紧（碟形弹簧 18）；其沿轴向右移时，松开脱齿。

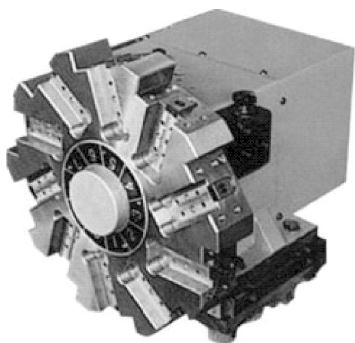


图 2-2-24 平床身十工位回转刀架

可轴向移动的齿盘 5 的右端面，在三个等分位置上装有三个滚子 6。此滚子与端面凸轮盘 7 的凹槽相接触。当端面凸轮盘回转使滚子落入端面凸轮的凹槽时，可轴向移动的齿盘右移，齿盘松开、脱齿，如图 2-2-25b 所示；当端面凸轮盘反向回转时，端面凸轮盘的凸面使滚子左移，可轴向移动的齿盘左移，齿盘合齿定位，见图 2-2-25c，并通过碟形弹簧将动齿盘向左拉，使齿盘进一步贴紧（夹紧）。

端面凸轮盘除控制齿盘 2 松开、脱齿、合齿定位、夹紧之外，还带动一个与中心轴套用齿形花键相连的驱动套 10 和驱动盘 11，使转塔刀盘分度，如图 2-2-25a 所示。端面凸轮盘的右端面有凸出部分，其能带动驱动盘、驱动套、中心轴回转进行分度。

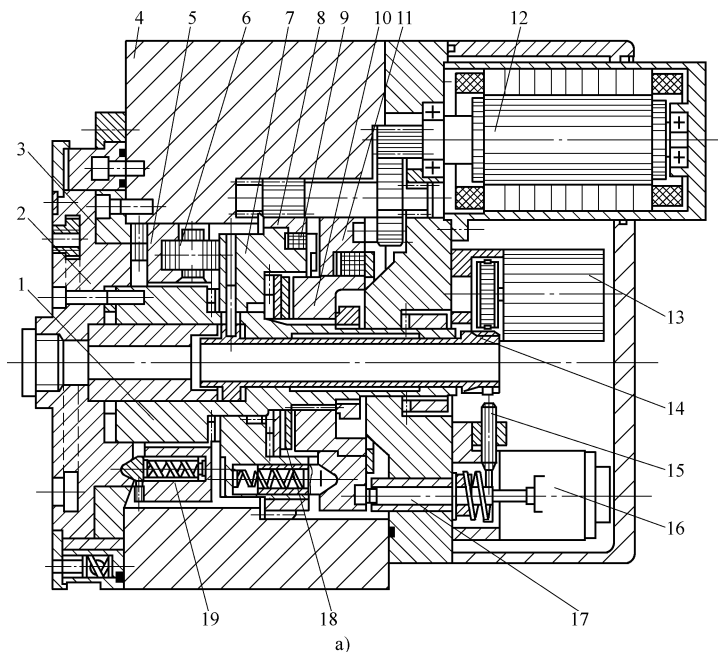


图 2-2-25 电动机驱动的转塔刀架

a) 总体结构

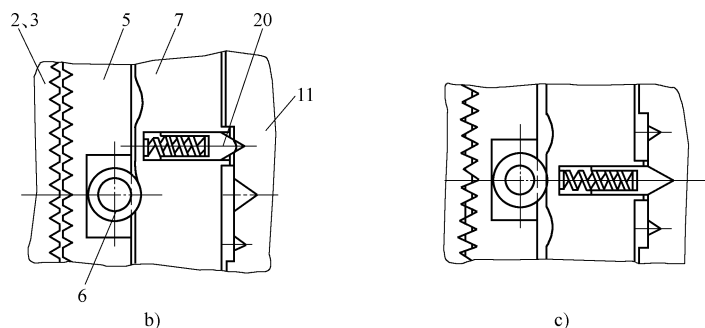


图 2-2-25 电动机驱动的转塔刀架 (续)

b) 脱齿时 c) 合齿时

- 1—中心轴套 2、3、5—齿盘 4—刀架体 6—滚子 7—端面凸轮盘 8—齿圈
9—缓冲键 10—驱动套 11—驱动盘 12—电动机 13—编码器 14—同步带轮轴
15—无触点开关 16—电磁铁 17—插销 18—碟形弹簧 19、20—定位销

整个换刀动作，脱齿（松开）、分度、合齿定位、夹紧，由一台交流电动机 12 驱动，经两次减速传到套在端面凸轮盘外圆的齿圈 8 上。此齿圈通过缓冲键 9 和端面凸轮盘相连，同样驱动盘和中心轴上的驱动套 10 之间也有类似的缓冲键。

四、六角回转刀架

图 2-2-26 所示为数控车床的六角回转刀架，它适用于盘类零件的加工。在加工轴类零件时，可以换成四方刀架，由于两者底部的安装尺寸相同，可以互换使用，更换刀架十分方便。

六角回转刀架的全部动作由液压系统通过电磁换向阀和顺序阀进行控制。它的动作分为四个步骤：

1) 刀架抬起。当数控装置发出换刀指令后，液压油由 E 孔进入压紧液压缸的下腔，活塞 1 上升，刀架体 2 抬起使定位活动插销 10 与固定插销 9 脱开。同时，活塞杆下端的端齿离合器与空套齿轮 5 结合。

2) 刀架转位。当刀架抬起之后，液压油从 G 孔转入液压缸左腔，活塞 6 向右移动，通过连接板带动齿条 8 移动，使空套齿轮 5 作逆时针方向转动，通过端齿离合器使刀架转过 60° 。活塞的行程应等于齿轮 5 节圆周长的 $1/6$ ，并由限位开关控制。

3) 刀架压紧。刀架转位之后，液压油从 F 孔进入压紧液压缸的上腔，活塞 1 带动刀架体 2 下降。齿轮 3 的底盘上精确地安装有六个带斜楔的圆柱固定插销 9，利用活动插销 10 消除定位销与孔之间的间隙，实现可靠定位。刀架体 2 下降时，定位活动插销 10 与另一个固定插销 9 卡紧，同时齿轮 3 与齿轮 4 的锥面接触，刀架在新的位置定位并压紧。这时，端齿离合器与空套齿轮 5 脱开。

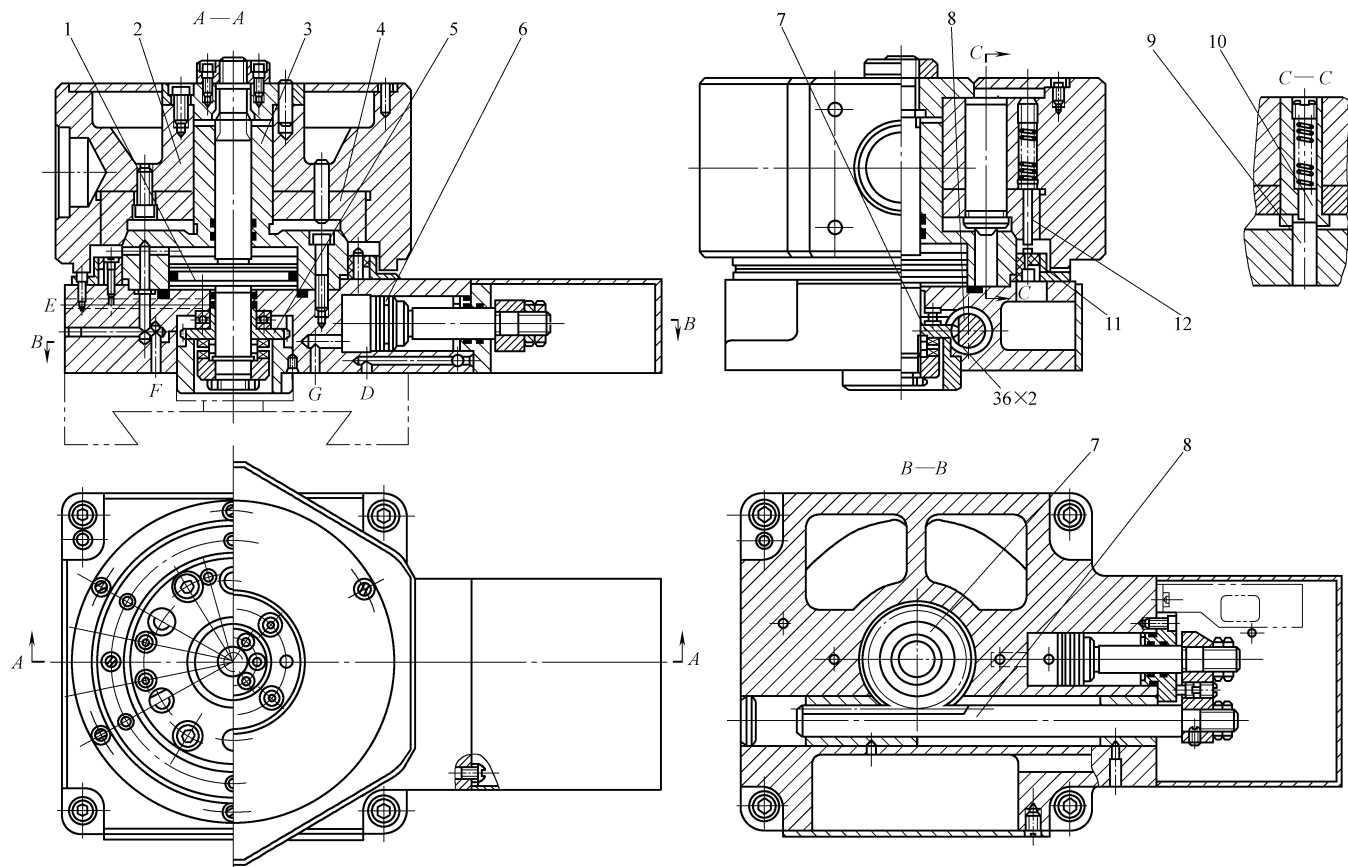


图 2-2-26 数控车床六角回转刀架

1、6—活塞 2—刀架体 3、4—齿轮 5—空套齿轮 7—活塞杆 8—齿条 9—固定插销 10—活动插销 11—推杆 12—接触头

4) 转位液压缸复位。刀架压紧之后, 液压油从 D 孔进入转位液压缸右腔, 活塞 6 带动齿条复位, 由于此时端齿离合器已脱开, 齿条带动齿轮 3 在轴上空转。如果定位和压紧动作正常, 推杆 11 与相应的接触头 12 接触, 发出信号表示换刀过程已经结束, 可以继续切削加工。

回转刀架除了采用液压缸驱动转位和定位销定位外, 还可以采用电动机—十字槽轮机构转位和鼠盘定位, 以及其他转位和定位机构。

第五节 数控车床的主轴箱

主轴箱是机床结构中最重要部件之一, 它由主轴箱体、轴承座、主轴、主轴轴承、轴承调整螺母、位置编码器及 V 带等组成。

一、主轴箱部件

1. 对数控机床主轴部件的要求

数控机床的主轴部件是机床重要组成部分之一。除了与普通机床一样要求其具有良好的旋转精度、静刚度、抗振性、热稳定性及耐磨性外, 由于数控机床在加工过程中不进行人工调整, 且数控机床要求的转速更高, 功率更大, 所以数控机床的主轴部件在上述几方面要求更高、更严格。

2. 主轴轴承常用配置形式

1) 采用双列圆柱滚子轴承和 60° 角接触球轴承组合 (见图 2-2-27a), 此配置形式使主轴综合刚度大大提高, 可满足强力切削的要求, 普遍应用于各类数控机床。

2) 前轴承采用高精度调心球轴承 (见图 2-2-27b), 具有较好的高速性能, 主轴最高转速可达 $4000\text{m}/\text{min}$, 但承载能力小, 适用于高速、轻载和精密的主轴部件。

3) 双列和单列圆锥滚子轴承作为主轴前后支承 (见图 2-2-27c), 径向和轴向刚度高, 可承受重载荷, 安装与调整性能好, 但限制了主轴的转速和精度的提高, 适用于中等精度、低速与重载荷的数控机床主轴。

另外对精密、超精密机床主轴, 可采用液体静压轴承和动压轴承, 对于要求更高转速的主轴, 可以采用空气静压轴承, 这种轴承可达几万转每分钟的转速, 并有非常高的回转精度。

为提高主轴组件刚度, 数控机床经常采用三支承主轴组件, 采用三支承可以

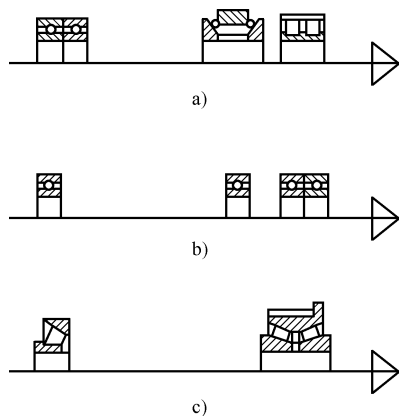


图 2-2-27 数控车床主轴
轴承配置形式

有效减少主轴弯曲变形，辅助支承通常采用深沟球轴承，安装后在径向要保留好适当的游隙，避免由于主轴安装轴承处轴径和箱体安装轴承处孔的制造误差（主要是同轴度误差）造成干涉。数控车床典型主轴结构如图 2-2-28 所示。

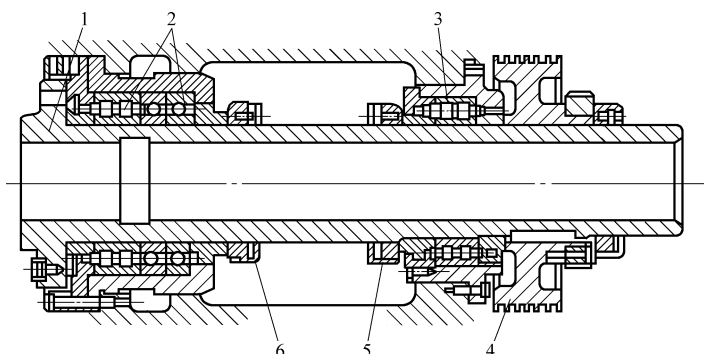


图 2-2-28 数控车床典型主轴结构

1—主轴 2—前轴承 3—后轴承 4—带轮 5、6—调整螺母

3. 主轴箱结构

数控车床主轴箱结构如图 2-2-29 所示，与普通机床相比，省去了变速齿轮结构，采用传动带传动，直接与主轴连接，主轴采用两支承结构，前支承由一个双列圆柱滚子轴承 11 和一对角接触球轴承 10 组成，轴承 11 用来承受径向载荷，两个角接触球轴承一个大口朝向主轴前端，另一个大口朝向主轴后端，用来承受双向的轴向载荷和径向载荷。前支承轴承的间隙用螺母 1 和 6 来调整。螺钉 17、13 起防松作用。主轴的支承形式为前端定位，主轴受热膨胀向后伸长，减少热变形对主轴的影响。前后支承所用的双列圆柱滚子轴承的支承刚性好，允许的极限转速高。而角接触球轴承能承受较大的轴向载荷，且允许的极限转速高，该支承结构能满足高速大载荷切削的需要。主轴的运动经过同步带轮 16 和 3 以及同步带 2 带动脉冲编码器 4，使其与主轴同步运转。脉冲编码器用螺钉 5 固定在主箱体 9 上，利用主轴脉冲编码器检测主轴的运动信号，一方面可实现主轴调速的数字反馈，另一方面可用于进给运动的控制，例如车螺纹。

4. 传动带

作为主运动的传递介质，主轴传动带的带形式主要有同步带、多楔带（即多联 V 带）。

（1）同步带 同步带兼有带传动、齿轮传动及链传动的优点，无相对滑动，无须特别张紧，传动效率高；平均传动比准确，传动精度较高；有良好的减振性能，无噪声，无须润滑，传动平稳；带的强度高、厚度小、重量轻，故可用于高速传动。

同步带根据齿形的不同又分为梯形齿同步带和圆弧齿同步带（见图 2-2-30）。

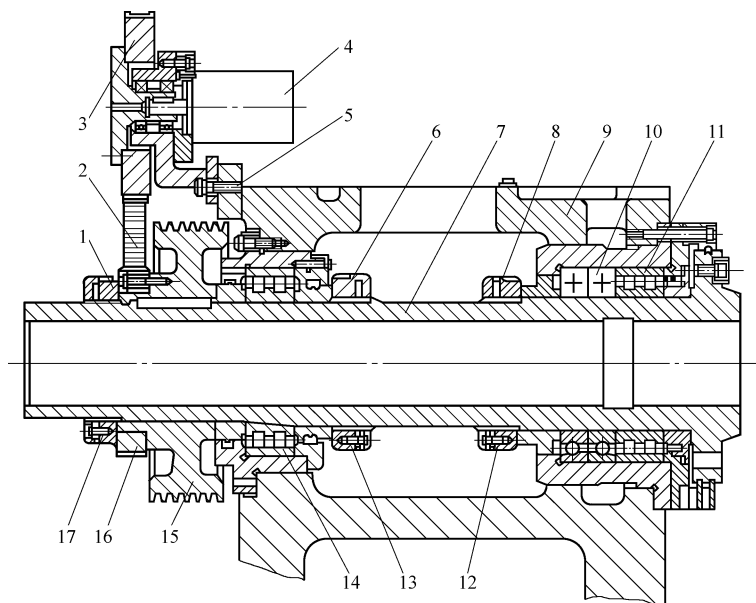


图 2-2-29 数控车床典型主轴箱结构简图

1、6、8—螺母 2—同步带 3、16—同步带轮 4—脉冲编码器 5、12、13、17—螺钉
7—主轴 9—主轴箱体 10—角接触球轴承 11、14—双列圆柱滚子轴承 15—带轮

带传动时，总是优先选用圆弧齿同步带。梯形齿同步带一般仅在转速不高或小功率的动力传动中使用。

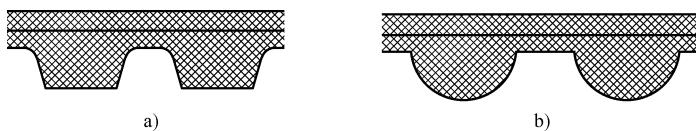


图 2-2-30 同步带截面形状

同步带（见图 2-2-31）由强力层和带体两部分组成。

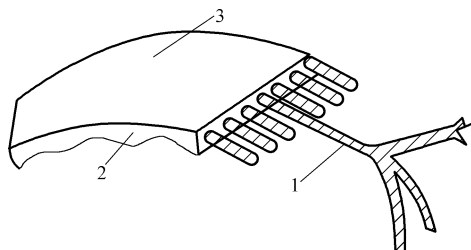


图 2-2-31 同步带的结构

1—强力层 2—带齿 3—带背

(2) 多楔带 如图 2-2-32 所示,多楔带综合了 V 带和平带的优点,是一次成形的,不会因长度不一致而受力不均,承载能力也比多根 V 带高,最高线速度可达 40m/min。多楔带有双联和三联两种,每种都有三种不同的截面。

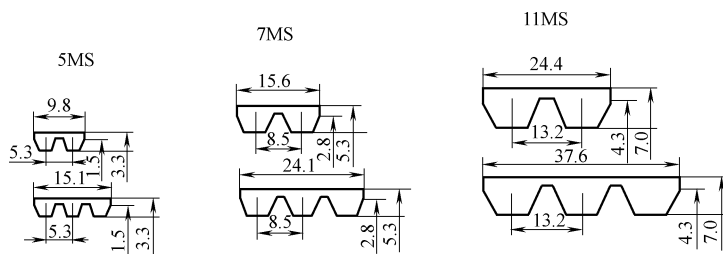


图 2-2-32 多楔带截面形式

二、电主轴

超高速数控机床是实现超高速加工的物质基础,而高速主轴又是超高速数控机床的“核心”部件,它的性能直接决定了机床的超高速加工性能,它不但要求较高的速度精度,而且要求具有连续输出的高转矩能力和非常宽的恒功率运行范围。因此,具备相应的高转速和高精度、高速精密和高效率特性的数控机床电主轴应运而生。电主轴具有结构紧凑、重量轻、惯性小、动态特性好等优点,并可改善机床的动平衡,避免振动、污染和噪声,它在超高速切削机床上得到了广泛的应用。

电主轴是将液冷感应电动机安装到主轴上,在主轴箱内与主轴组成的一个完整的电动机,即主轴单元。其转子热装在主轴上,定子压装在冷却壳内直接装到主轴箱,通电后直接带动主轴运转。冷却介质通过定子外壳上的螺旋形导线将高速运转产生的热量几乎全部带走。其结构简单紧凑、功率损耗小、转动惯量小,可代替以往的传动带或齿轮减速的分离式主轴电动机,使高速数控机床实现零传动,提高主轴电动机的切削速度、快速响应能力和控制精度。

1. 电主轴的结构

电主轴由主轴及主轴箱本体、辅助装置、检测装置组成。电动机的转子采用压配方法与主轴做成一体,主轴则由前后轴承支撑。转子、定子通过冷却套安装在主轴单元的壳体中。主轴的变速由主轴驱动模块控制,而主轴单元内的温升由冷却装置控制。

电主轴是一套组件,它主要包括电主轴本身及高频变频装置、润滑装置、冷却装置、内置编码器。其主轴轴承通常采用复合陶瓷轴承、电磁悬浮轴承、静压轴承、滚珠轴承。润滑方式通常采用油雾润滑、定时定量油气润滑、脂润滑。根据主电动机与主轴轴承的相对位置,电主轴有两种布局方式:一种是将

主电动机置于主轴前后轴承之间（见图 2-2-33），这种结构主轴单元的轴向尺寸短、刚度好、输出转矩大。另一种是将主电动机置于主轴后轴承，同轴布置（见图 2-2-34），这种结构有利于减小电主轴前端径向尺寸，电动机散热条件好。结构典型的电主轴有车削中心电主轴（见图 2-2-35），其结构紧凑，各个功能部件配置非常合理，完全能够满足车削中心对于高速、高精度回转的需要。在车铣复合中心上的电主轴除了上述功能外，还带有 C 轴功能（见图 2-2-36、图 2-2-37）。



图 2-2-33 内置式电主轴

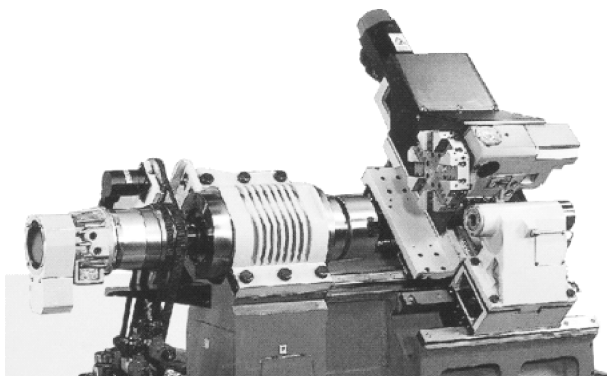


图 2-2-34 悬臂式电主轴结构

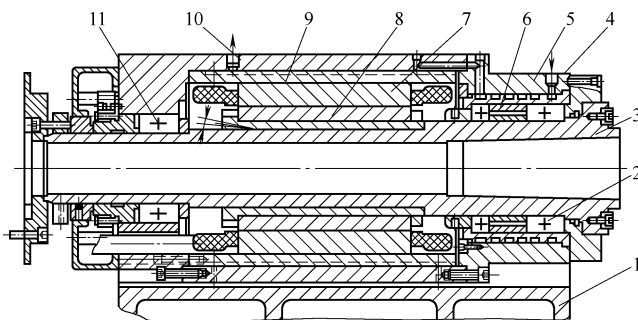


图 2-2-35 车削中心电主轴结构

- 1—主轴箱体 2—主轴前轴承 3—主轴 4—切削液进口 5—主轴前轴承座
6—前轴承冷却套 7—定子 8—转子 9—定子冷却套 10—切削液出口 11—主轴后轴承

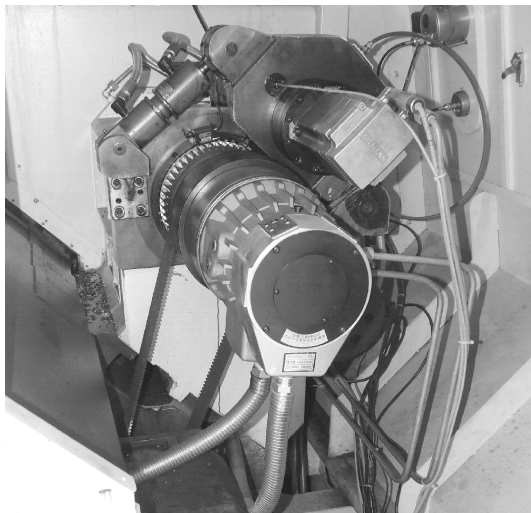


图 2-2-36 车铣复合中心电主轴（一）

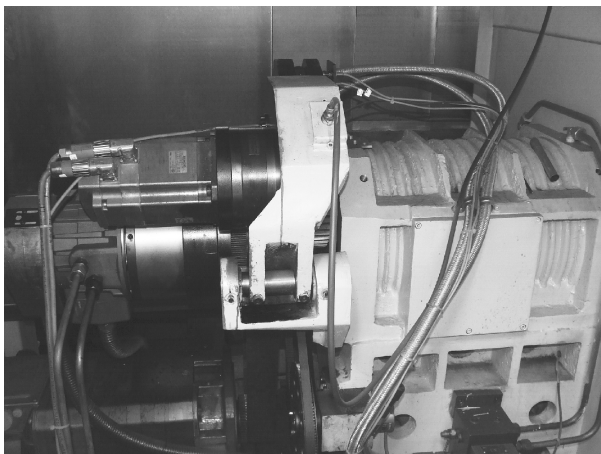


图 2-2-37 车铣复合中心电主轴（二）

2. 数控车床电主轴的特征

（1）高回转精度 数控车床电主轴是零件装夹的基准，并使零件获得旋转主运动，因此主轴的回转精度直接影响加工精度。为保证电主轴在高速运转时的回转精度，其关键零件必须进行精加工和超精加工，选用尺寸和精度等级合适的轴承，采用合理的装配方案。

（2）高刚度 主轴刚度直接反映了主轴单元抵抗外载荷的能力。在进行粗车加工时，背吃刀量较大，主轴要承受很大的径向力，为了保证加工精度、避免振动，要求电主轴具备较高的刚度，特别是径向刚度。

(3) 抗振性强 机床工作时，主轴部件在受到冲击力和交变干扰力的作用而产生振动。振动是主轴动态性能的重要指标，振动将会产生噪声，并直接影响零件的表面加工质量，振动严重时会产生崩刃和打刀现象。因此，要求电主轴具有很强的抗振性。

(4) 电动机特性优良 数控车床大都具有较宽广的加工范围，这就要求数控车床电主轴既要有优良的低速加工性能，又要有好的高速加工性能。在起步及低速段采用恒转矩调速，保证低速时有较大的输出转矩，满足低速大进给的切削要求；而高速段采用恒功率调速，可满足小切削量的高转速要求。对一些低速要求高的电主轴，通常应采用高性能的矢量变频器控制。

(5) 热特性稳定 由于数控车床电主轴是将高速电动机置于机床主轴部件内部，高速运转时，电动机转子、定子和轴承的发热量很大，并引起热变形，直接影响机床的工作稳定性和加工精度，因此要求电主轴的热态性能要稳定，即采用合理的冷却系统。

第六节 数控车床的液压系统

数控车床的液压系统主要用来控制、实现液压卡盘的夹紧、松开和完成液压尾座中回转顶尖的前进与后退动作。

一、液压系统的组成及原理

液压系统主要由油箱、电动机、变量叶片油泵、减压阀、节流阀、换向阀及其他辅助装置组成（见图 2-2-38、图 2-2-39）。

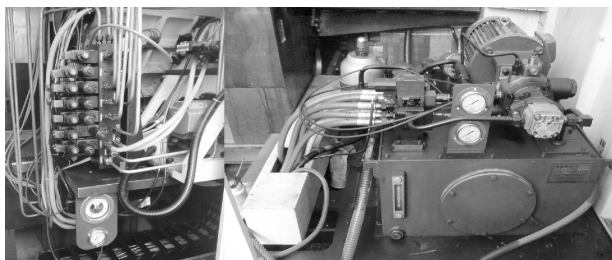


图 2-2-38 车铣复合中心液压站

目前，数控车床中常用的数控液压供油系统如图 2-2-40 所示。

开动电动机后，液压泵 3 泵出的液压油一路经单向节流阀 5-1、减压阀 7-1 到达控制液压卡盘的三位四通电磁换向阀 10-1；另一路经单向节流阀 5-2、减压阀 7-2 到达控制液压尾座的三位四通电磁换向阀 10-2；电磁铁 1VB 通电，液压油通过单向节流阀 5-1、减压阀 7-1、电磁换向阀 10-1 左位到达液压卡盘液压缸右腔，使

卡盘液压缸卡紧；电磁铁 2VB 通电，电磁阀换向，液压油经单向节流阀 5-1、减压阀 7-1、电磁换向阀 10-1 右位到达卡盘液压缸另一腔，卡盘液压缸松开。卡盘夹紧或松开的速度由单向节流阀 5-1 来调节，顺时针旋转夹紧速度减慢，逆时针旋转夹紧速度加快。

当电磁换向阀 10-2 的电磁铁 3VB 通电，液压油通过单向节流阀 5-2、减压阀 7-2、电磁换向阀 10-2 左位到达液压尾座液压缸，使尾座液压缸前进压紧；电磁铁 4VB 通电，电磁阀换向，液压油经单向节流阀 5-2、减压阀 7-2、电磁换向阀 10-2 右位到达尾座液压缸另一腔，尾座液压缸松开。尾座前进或后退的速度由单向节流阀 5-2 来调节，顺时针旋转速度减慢，逆时针旋转速度加快。

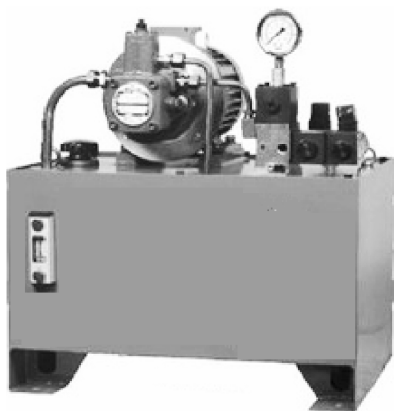


图 2-2-39 数控车床液压站

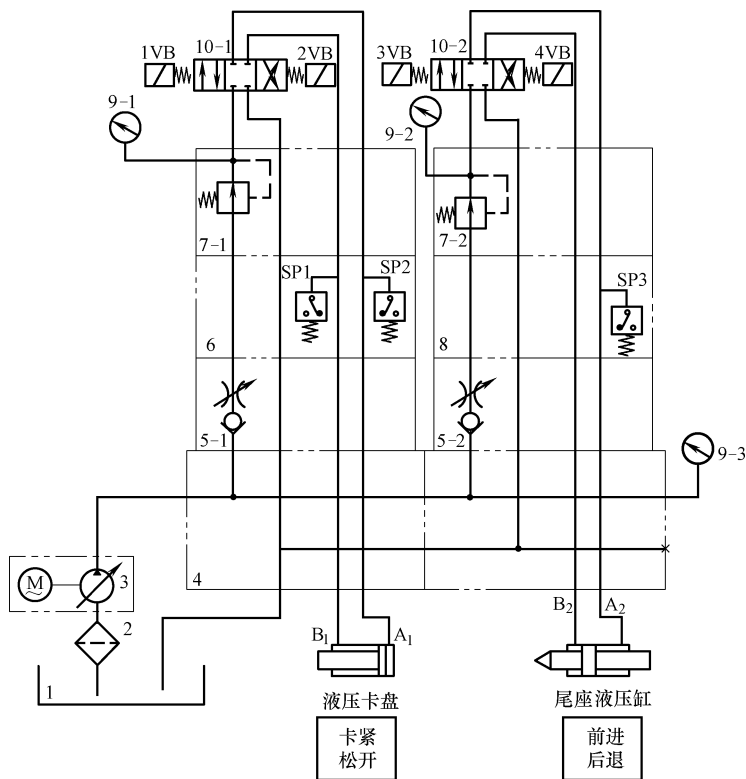


图 2-2-40 数控车床液压供油系统

二、液压卡盘

车床卡盘分为手动卡盘和动力卡盘，动力卡盘又分为气动动力卡盘和液压动力卡盘。液压动力卡盘与液压回转液压缸配套使用，用于数控车床和自动车床上，实现工件的自动夹紧。液压动力卡盘有多种不同的结构，其性能也有所不同。

数控车床液压卡盘通常都配备有硬爪（见图 2-2-41）和未经淬火的卡爪，即软爪（见图 2-2-42）。软爪分为内夹和外夹两种形式，卡盘闭合时夹紧工件的软爪为内夹式软爪，卡盘张开时撑紧工件的软爪为外夹式软爪。数控车床液压卡盘的夹紧、松开由双联脚踏开关控制。数控车床夹紧力的大小可根据工件壁厚情况来调整，在未夹紧联工件情况下调整减压阀，可使夹紧力在一定范围内变化。

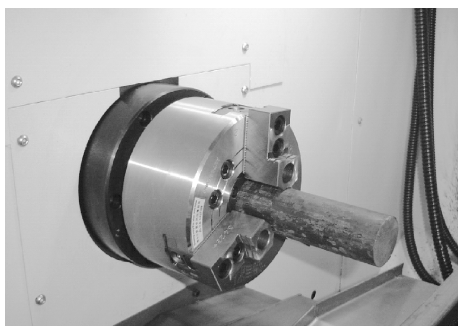


图 2-2-41 硬爪滑块式液压卡盘



图 2-2-42 软爪滑块式液压卡盘

在数控车床上加工不同的零件时，要根据零件的形状、尺寸采用不同的装夹方式：

1) 在适合大批量中小型零件加工的自定心卡盘上安装较重轴类工件时，需采用一端装夹、一端顶紧的装夹方式。

2) 当装夹大型和形状不规则工件时，如偏心套和曲轴等，应在单动卡盘上安装或在平面上安装，并应加装平衡装置进行动平衡测试。

3) 较长的或必须经过多次装夹才能完成的零件，或工序较多在车削后还要进行铣、磨的工件，应在两顶尖间安装，如长轴、长丝杠的车削。

4) 当加工细长轴（ $L/d > 25$ ）时，要使用跟刀架或中心架（见图 2-2-43）来增加工

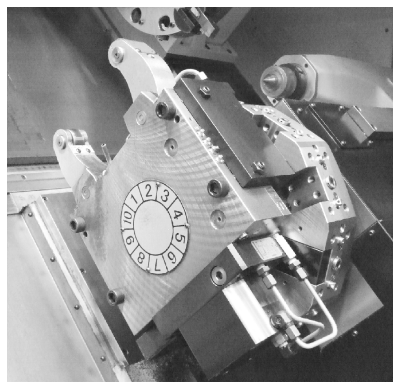


图 2-2-43 数控中心架

件的刚性。

使用中操作者应当注意,在卡盘未夹持工件时,主轴不得进行空运转,否则易造成卡爪脱离伤人。由于在机床上加工工件的形状、直径尺寸不同,有时需更换不同的夹紧装置或对卡爪装夹尺寸范围和液压夹紧力进行相应的调整。

液压驱动动力自定心卡盘结构如图 2-2-44 所示。

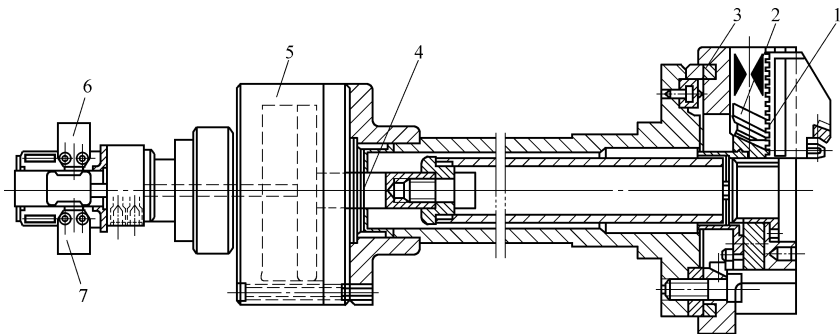


图 2-2-44 液压驱动动力自定心卡盘结构

1—驱动爪 2—卡爪 3—卡盘 4—活塞杆 5—液压缸 6、7—行程开关

第七节 数控车床的冷却系统

生产中大多采用传统的切削液方式冷却。为提高刀具寿命,在机床冷却系统中对于采用内冷的刀具,常采用半导体制冷技术、热管技术来降低刀具的切削温度,也有采用液氮、 CO_2 来冷却车刀的,以适应自动化生产的需要。

一、刀具冷却系统

数控车床刀具在加工过程中,常处在高速切削状态,刀具的冷却效果直接影响着零件加工质量,也在很大程度上影响着刀具的使用寿命和切削性能。目前,绝大多数数控机床还是采用切削区浇注切削液的冷却方式,在刀具的结构上没有太多的改动。而对于较为先进的数控车床,其冷却系统有了较大的改进,融入了先进的理念(见图 2-2-45)。

新型的制冷刀具选择标准的可转位车刀,刀头部分保留原设计要求。将刀杆中心开一孔放置脉冲管,并将脉冲管的冷却头与切削区接触,以增加冷却效果。加工内孔零件的车刀常采用内冷式,其主要结构如图 2-2-46 所示。

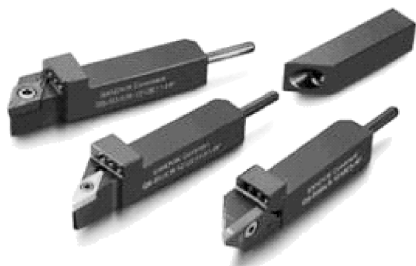


图 2-2-45 带有冷却系统的车刀

制冷车刀是冷却系统的重要组成部分，冷却效果的好坏与制冷车刀结构有很大关系，因此制冷车刀在设计时要考虑以下问题：①要符合目前刀具的常用技术规格；②刀具结构的改变不影响刀具的切削性能；③刀具结构改变后要有足够的刚性；④刀具结构要满足热传导的要求。

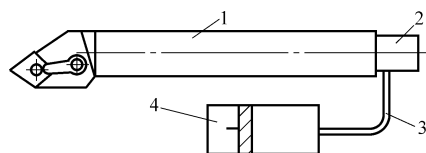


图 2-2-46 内冷车刀冷却系统
1—可转位内冷车刀 2—脉冲管
3—柔性软管 4—压力波发生器

二、数控车床冷却设备

数控车床的冷却系统中，主要部件包括冷却泵，冷却软管，阀门，喷头及切削液的过滤、回收设备等（见图 2-2-47 ~ 图 2-2-49）。

在数控加工程序自动运行状态下，可以通过编程指令 M08/M09 开、停切削液，也可以在手动状态下，通过操纵机床控制面板上的切削液开关按键来控制，还可以通过 MDI 方式单段执行切削液的开、停。

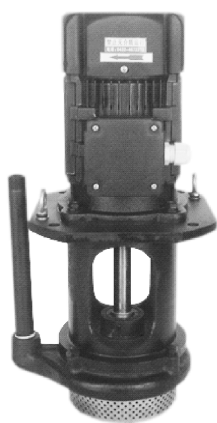


图 2-2-47 冷却泵

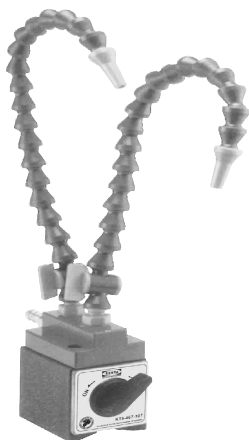


图 2-2-48 冷却阀及喷嘴

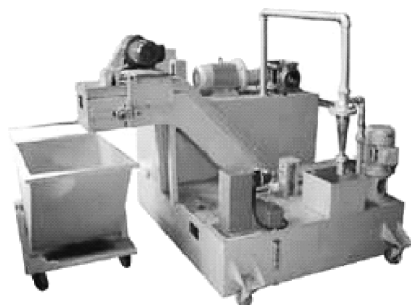


图 2-2-49 综合排屑冷却系统

第八节 数控车床的排屑系统

一、排屑装置在数控机床上的作用

伴随数控机床的出现和发展，机械加工的效率大大提高，在单位时间内数控机床的金属去除量大大高于普通机床，而工件上的多余金属在变成切屑后将占据较大的空间，造成生产环境不好管理。切屑堆积在加工区域，如不及时清除，必

将会覆盖或缠绕在被加工零件和刀具上，妨碍自动加工的继续进行，并造成已加工表面划伤。此外，切屑向机床或工件散发的热量，会使机床或工件产生变形，影响加工精度。因此，迅速而有效地排除切屑，对数控机床加工而言是十分重要的，而排屑装置正是完成这项工作的数控机床的必备附属装置。排屑装置的主要作用是将切屑从加工区域排出数控机床之外，在数控车床和磨床上的切屑中往往混合着切削液，排屑装置从其中分离出切屑，并将它们送入切屑收集箱或铁屑车内，切削液则回流到切削液箱。若切屑不能直接落入排屑装置，需要采用大流量切削液冲刷，或压缩空气吹扫等方法使切屑进入排屑槽，然后再回收切削液并排出切屑。

排屑装置是一种具有独立功能的附件，它的工作可靠性和自动化程度，随着数控机床技术的发展而不断提高，并逐步趋向标准化和系列化，由专业工厂生产。数控机床排屑装置的结构和工作形式应根据机床的种类、规格、加工工艺特点、工件的材质和使用的切削液种类等来选择。

二、典型排屑装置

常见的排屑装置主要有以下几种：

(1) 平板链式排屑装置 该装置以滚动链轮牵引钢质平板链带在封闭箱中运转，切屑用链带带出机床（见图 2-2-50）。这种装置能排除各种形状的切屑，适用性强，各类机床都能采用。在车床上使用时要与机床切削液箱合为一体，以简化机床结构。

(2) 刮板式排屑装置 该装置的传动原理与平板链式基本相同，只是链板不同，它带有刮板链板（见图 2-2-51）。这种装置常用于输送各种材料的短小切屑，排屑能力较强。因负载大，故需采用较大功率的驱动电动机。



图 2-2-50 平板链式



图 2-2-51 刮板式

(3) 螺旋式排屑装置 该装置是利用电动机经减速装置驱动安装在沟槽中的一根绞笼式螺旋杆进行工作的（见图 2-2-52）。螺旋杆工作时，沟槽中的切

屑即由螺旋杆推动连续向前运动，最终排入切屑收集箱。螺旋杆有两种结构类型：一种是用扁形钢条卷成螺旋弹簧状，另一种是在轴上焊有螺旋形钢板。这种装置占据空间小，适于安装在机床与立柱间空隙狭小的位置上。螺旋式排屑结构简单、性能良好，但只适合沿水平或小角度倾斜的直线方向排运切屑，不能大角度倾斜、提升和转向排屑。



图 2-2-52 螺旋式

三、排屑装置的安装

数控车床排屑装置的安装位置应尽可能靠近切削加工区域，在旋转工件下方，并与床身的冷却系统回水槽合并，以利于简化机床排屑装置结构，减小机床占地面积，提高排屑效率和切削液的回收。排出的切屑一般都落入切屑收集箱或铁屑车中，在数控机床加工单元或柔性制造单元中的可以直接排入车间排屑系统。

第九节 数控车床的床身及尾座

数控车床布局形式受到工件尺寸、质量和形状，机床生产率、精度、操纵方便运行要求和安全与环境保护要求的影响。

一、数控车床的结构布局

根据工件尺寸、质量和形状不同，数控车床分为卧式平床身数控车床、卧式斜床身数控车床、单立柱式数控车床、双立柱式数控车床和重型桥式龙门五轴车铣复合机床、数控卧式端面车床等几种，如图 2-2-53 ~ 图 2-2-58 所示。



图 2-2-53 卧式平床身数控车床



图 2-2-54 卧式斜床身数控车床

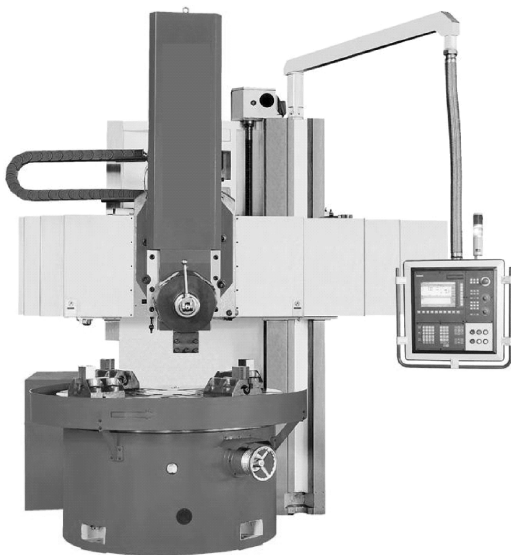


图 2-2-55 单立柱式数控车床

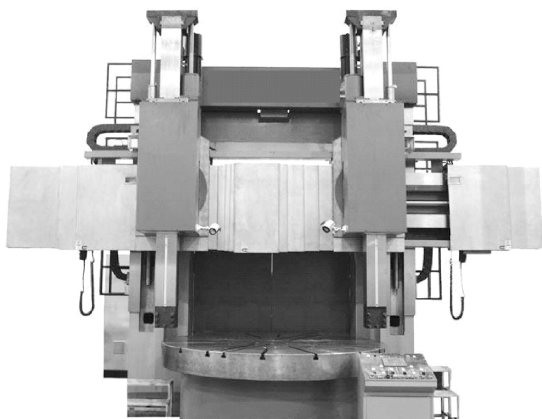


图 2-2-56 双立柱式数控车床

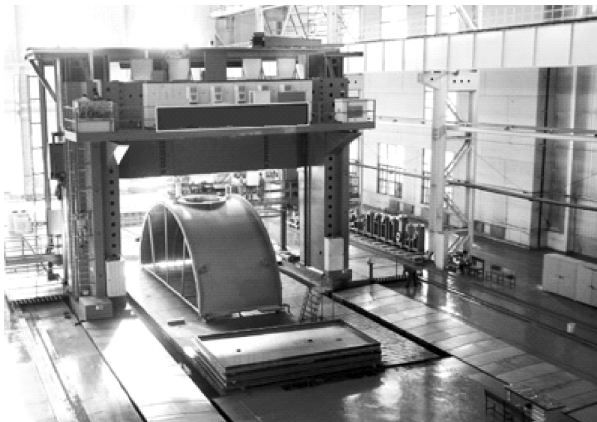


图 2-2-57 重型桥式龙门五轴车铣复合机床

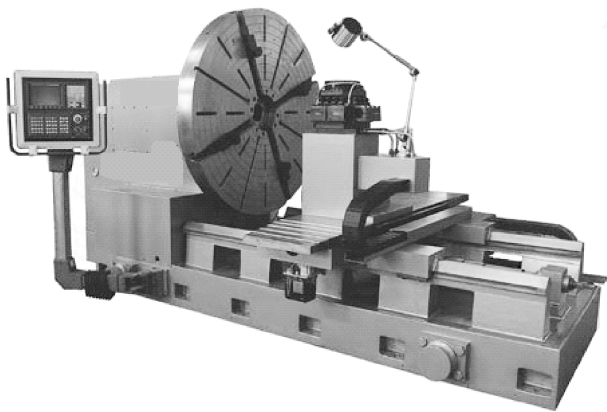


图 2-2-58 数控卧式端面车床

数控车床是在普通车床的基础上发展起来的，但其传动系统、操作机构、刀具装置、外观造型及布局方面都有很大的变化和进步。

在卧式数控车床布局中，刀架和导轨的布局已成为重要的影响因素。刀架位置和导轨的位置较大地影响了机床和刀具的调整、工件的装卸、机床操作的方便性，以及机床的加工精度，并且考虑到排屑性和抗振性，导轨宜采用倾斜式。

1) 图 2-2-59a 所示为平床身的布局。它的工艺性好，便于导轨面的加工。水平床身配上水平放置的刀架，可提高刀架的运动精度。这种布局一般用于大型数控车床或小型精密数控车床上。但是水平床身下部空间小，排屑困难。从结构尺寸上看，刀架水平放置使得滑板横向尺寸较长，从而加大了机床宽度方向的尺寸。

2) 图 2-2-59b 所示为斜床身的布局。其导轨倾斜的角度分别为 30° 、 45° 、 60° 和 75° 等。当导轨倾斜的角度为 90° 时，称为立床身，如图 2-2-59d 所示。倾斜

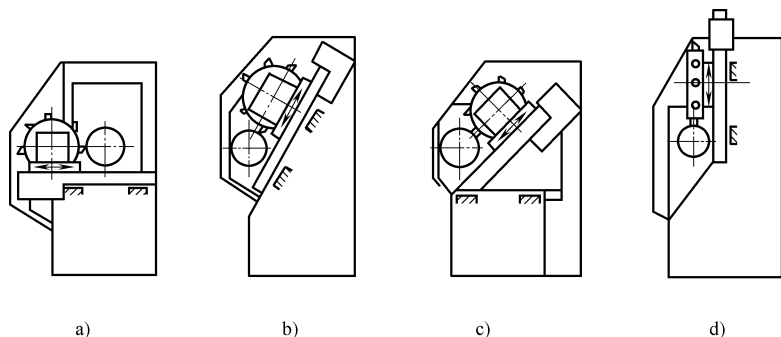


图 2-2-59 数控车床床身布局形式

a) 平床身 b) 斜床身 c) 平床身斜滑板 d) 立床身

角度小的床身排屑不便；倾斜角大，导轨的导向性及受力情况差。倾斜角度的大小还直接影响机床外形尺寸高度与宽度的比例。综合考虑以上因素，中小规格的数控车床床身的倾斜度以 60° 为宜。

3) 图 2-2-59c 所示为平床身斜滑板的布局。这种布局形式一方面具有水平床身工艺性好的特点；另一方面机床宽度方向的尺寸较水平配置滑板的尺寸要小，且排屑方便。

平床身斜滑板和斜床身的布局形式在中、小型数控车床上普遍采用。这是由于这两种布局形式排屑容易，切屑不会堆积在导轨上，也便于安装自动排屑器；操作方便，便于安装机械手以实现单机自动化；机床占地面积小，外形美观，便于实现封闭式防护。

二、数控车床的尾座

在数控车床上加工大型零件及轴向尺寸较长的轴类零件时，为了保证零件在加工过程中准确的定位和装夹刚性，需要采用一夹一顶的装夹方式，即卡盘装夹零件的工艺台一端，另一端由安装在尾座套筒上的回转顶尖通过预先加工出的顶尖孔对工件进行支撑，保证零件在机床中的轴向定位和支撑。尾座有普通手动尾座（见图 2-2-60）、液压尾座（见图 2-2-61）和可编程序控制液压尾座（见图 2-2-62）等。

在液压尾座上配备有数控高速回转顶尖（见图 2-2-64），其回转精度比普通回转顶尖（见图 2-2-63）高，结构上与普通回转顶尖大致相同，所不同的是，数控高速回转顶尖采用精密高速轴承，并且在顶尖的回转体前段配置了调节螺纹环，便于拆卸。

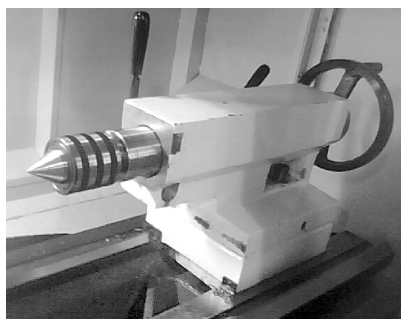


图 2-2-60 普通手动尾座

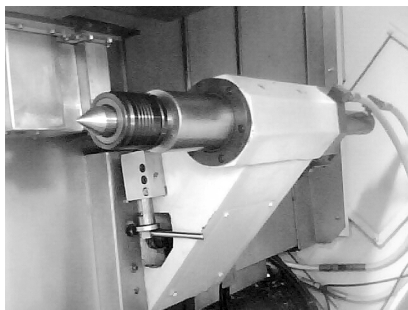


图 2-2-61 液压尾座



图 2-2-62 可编程序控制液压尾座



图 2-2-63 普通回转顶尖

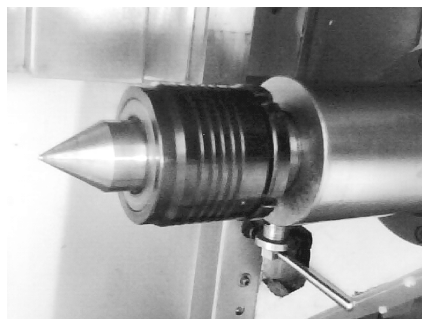


图 2-2-64 数控高速回转顶尖

第十节 数控车床的附件

数控车床的附件很多，除了前面介绍的尾座、顶尖、冷却和排屑装置外，还有一些附件在数控车床运行过程中也是不可或缺的。

一、脚踏开关

在使用数控车床进行零件加工的过程中，脚踏开关是操作者随时都在操作的机床附件。脚踏开关是一种通过脚踩或踏来进行操作电路通断的开关，使用在双手不能同时操控的控制电路中，以解放操作者双手来操控数控机床其他附件的动作。

1. 脚踏开关的作用

数控车床采用脚踏开关，主要是让操作者在双手操作机床进行零件的安装、调整定位时，使用脚踏开关同时来完成控制液压卡盘、液压尾座、液压中心架等功能部件运动，这样就可以同时完成零件的安装、定位和夹紧等一系列操作动作，大大提高了生产效率。

2. 脚踏开关的种类

脚踏开关其实就是内置一个行程开关，当脚踏发出信号时，开关执行闭合、断开，从而控制其他功能部件的不同动作。从结构和功能上大致分为单动脚踏开关、双联脚踏开关和三联脚踏开关（见图 2-2-65 ~ 图 2-2-67）。

单动脚踏开关可控制液压卡盘的夹紧和松开，双联脚踏开关可控制液压卡盘的夹紧和松开，以及液压尾座的顶紧和回退，三联脚踏开关除控制液压卡盘和液压尾座外，还可控制液压中心架的支撑顶紧与回退。



图 2-2-65 单动脚踏开关



图 2-2-66 双联脚踏开关

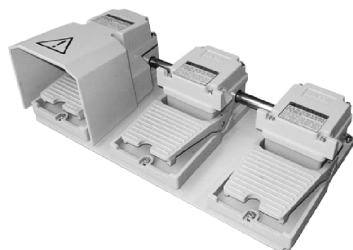


图 2-2-67 三联脚踏开关

脚踏开关从材质上区分有阻燃工程塑料、钢板、铝合金等，可根据不同的使用环境选配。

3. 使用注意事项

- 1) 搬运以及移动时要注意内部配线的短路、断路等，防止发生事故。
- 2) 在大量水、油、粉尘等场所中，应注意脚踏开关的防护。
- 3) 重压和冲击会造成产品损坏，操作时务必小心。

二、变频器

在数控车床中，经济型数控车床大多数是不能自动变速的，需要变速时，只能把机床停止，然后手动变速。而全功能数控车床的主传动系统大多采用无级变速。目前，无级变速系统主要有变频主轴系统和伺服主轴系统两种，一般采用直流或交流主轴电动机。通过带传动带动主轴旋转，或通过带传动和主轴箱内的减速齿轮（以获得更大的转矩）带动主轴旋转。由于主轴电动机调速范围广，又可实现无级调速，使得主轴箱的结构大为简化。

1. 数控车床用变频器特点

- 1) 体积小，占用控制柜空间较小。
- 2) 控制方式为正弦波无速度反馈矢量控制，能在低速转矩上满足机床主轴的需求。
- 3) 载波频率范围为 0 ~ 15kHz，减小电动机的电磁噪声。
- 4) 过载能力强，150% 以上额定输出电流超过 1min。

- 5) 多功能的输出端子信号，如零速信号、运转中信号、速度到达信号、故障指示，可以实现系统对于主轴速度状态的即时监控。
- 6) 可以进行自动转矩补偿，满足机床主轴在低速情况下的加工需求。
- 7) 运行过程中储存异常记录，可以让维修人员从侧面了解机床主轴实际的运行状况。
- 8) 在线识别调整电动机参数，保证系统的稳定性和精确性。

2. 变频器的结构

各生产厂家生产的通用变频器，其主电路结构和控制电路并不完全相同，但基本的构造原理和主电路连接方式以及控制电路的基本功能都大同小异。图 2-2-68 所示为通用变频器结构原理。

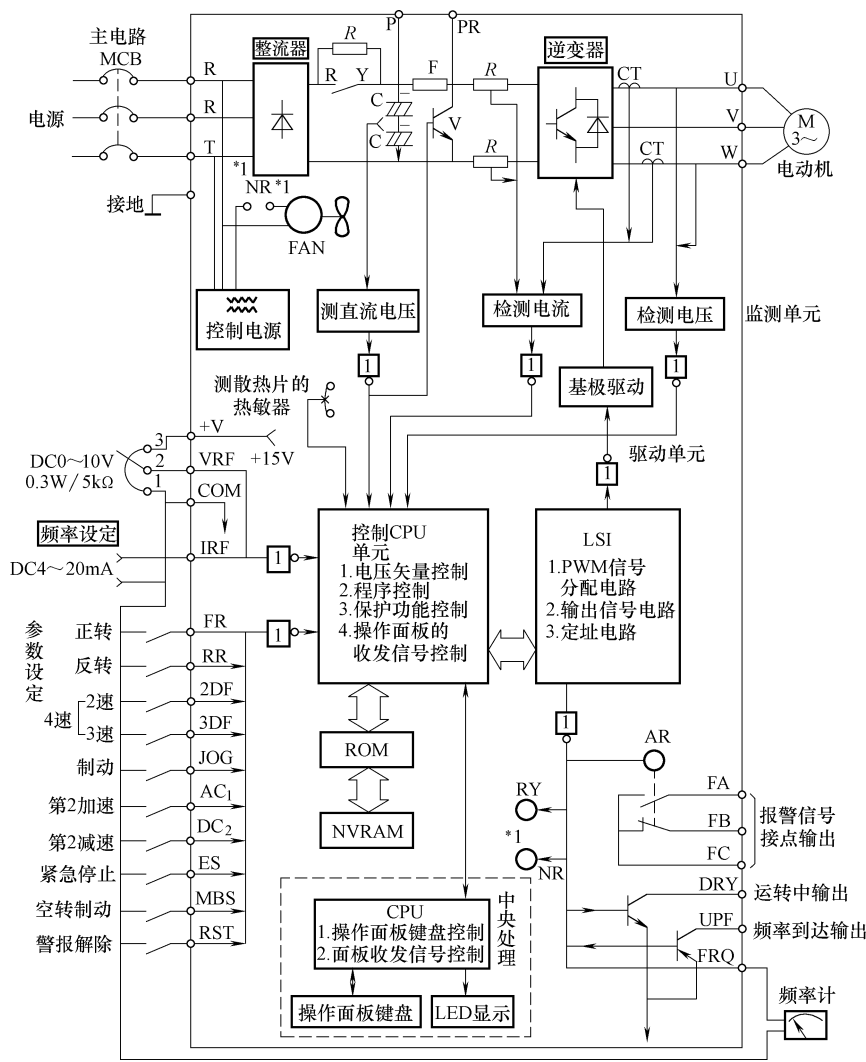


图 2-2-68 通用变频器结构原理

变频器主要包括三个部分：一是主电路接线端，包括接工频电网的输入端（R、S、T），接电动机的频率、电压连续可调的输出端（U、V、W）；二是控制端子，包括外部信号控制端子、变频器工作状态指示端子、变频器与微机或其他变频器的通信接口；三是操作面板，包括液晶显示屏和键盘（见图 2-2-69、图 2-2-70）。



图 2-2-69 变频器外观

3. 变频器报警解读

（1）过电流 过电流是变频器报警最为频繁故障。

主要现象为：

1) 重新启动时，一升速就跳闸。这是过电流十分严重的现象。主要原因有：负载短路，机械部位有卡住；逆变模块损坏；电动机的转矩过小等。

2) 上电就跳，这种现象一般不能复位，主要原因有模块、驱动电路、电流检测电路损坏等。

3) 重新启动时并不立即跳闸，而是在加速时跳闸，主要原因有：加速时间设置太短、电流上限设置太小、转矩补偿（V/F）设定较高等。

（2）过电压 过电压报警一般是出现在停机的時候，其主要原因是减速时间太短或制动电阻及制动单元有问题。

（3）欠电压 欠电压也是在使用中经常碰到的问题。主要是因为主回路电压太低（220V 系列低于 200V，380V 系列低于 400V），主要原因有：整流桥某一路



图 2-2-70 全功能数控车床变频器

损坏或可控硅三路中有工作不正常，其次主回路接触器损坏，导致直流母线电压损耗在充电电阻上面有可能导致欠电压。还有就是电压检测电路发生故障而出现欠电压问题。

(4) 过热 过热也是一种比较常见的故障，主要原因有：周围温度过高，风机堵转，温度传感器性能不良，电动机过热。

(5) 输出不平衡 输出不平衡一般表现为电动机抖动，转速不稳，主要原因有模块、驱动电路、电抗器损坏等。

(6) 过载 过载也是变频器跳动比较频繁的故障之一，平时看到过载现象首先应该分析一下到底是电动机过载还是变频器自身过载，一般来讲电动机由于过载能力较强，只要变频器参数表的电动机参数设置得当，一般不会出现过载。而变频器本身由于过载能力较差很容易出现过载报警。可以检测变频器输出电压，电流检测电路等故障易发点来一一排除故障。

三、电源系统

电源系统是维持系统正常工作的能源支持部分（见图 2-2-71），它失效或故障的直接结果是造成系统的停机甚至毁坏整个系统。另外，数控系统部分运行数据、设定数据以及加工程序等一般存储在 RAM 存储器内，系统断电后，靠电源的后备电池来保持。因而，停机时间比较长，拔插电源或存储器都可能造成数据丢失，使系统不能运行。同时，由于数控设备使用的是三相交流 380V 电源，所以安全性也是数控设备安装前期工作中重要的一环。对数控设备使用的电源电网电压波动应该控制在 $-15\% \sim +10\%$ ，而我国电源波动较大，质量差，还隐藏着高频脉冲这一类的干扰，加上人为的因素（如突然拉闸断电等），使机床报警而无法进行正常工作，并对机床电源系统造成损坏，甚至导致有关参数数据的丢失等。建议在 CNC 机床较集中的车间配置具有自动补偿调节功能的交流稳压供电系统，单台 CNC 机床可单独配置交流稳压器。



图 2-2-71 机床电源系统

数控车床加工工艺

第一节 数控车床加工的工艺特点、运动和内容

一、数控车床加工工艺的特点

数控车床加工工艺的特点就是工件旋转作主运动，车刀作进给运动，在数控系统的控制下，各轴按照要求完成动作，使车刀去除零件的加工余量，得到合格的零件。车削加工可以在卧式数控车床、立式数控车床、仿形数控车床、自动数控车床、转塔数控车床以及各种专用数控车床上进行，主要用于加工各种回转表面。根据所选用的车刀角度和切削用量的不同，车削可分为粗车、半精车、精车、超精车等阶段。其中，粗车的尺寸公差等级为 IT11 ~ IT12，表面粗糙度 Ra 值为 $12.5 \sim 25 \mu\text{m}$ ；半精车尺寸公差等级为 IT9 ~ IT10，表面粗糙度 Ra 值为 $3.2 \sim 6.4 \mu\text{m}$ ；精车尺寸公差等级为 IT7 ~ IT8，表面粗糙度 Ra 值为 $0.8 \sim 1.6 \mu\text{m}$ ；超精车尺寸公差等级为 IT5 ~ IT6，表面粗糙度 Ra 值为 $0.05 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。

二、数控车床加工的运动

1) 工件的旋转是数控车床的主运动，是实现切削最基本的运动。其特点是速度较高，消耗的动力较多。它的计算单位常用主轴转速 n (r/min) 表示。它的功用是使刀具与工件间作相对运动。

2) 刀具的移动是数控车床的进给运动。其特点是速度较低，消耗的动力较少。它的计算单位常用进给量 f (mm/r) 表示，即主轴每转的刀架移动距离。它的功用是使毛坯上新的金属层被不断地投入切削，直至切削出整个加工表面。

3) 切入运动通常与进给运动方向相垂直，一般由数控系统控制各轴相对运动来完成。它的功用是将毛坯加工到所需要的尺寸。

4) 辅助运动是刀具与工件除工作运动以外，还要具有刀盘纵向及横向快速移动等运动功能，以便实现快速趋近或返回。

三、数控车床加工的内容

数控车床一般可以完成车削外圆、车削内圆、车削端面、车削锥面、车削螺纹、切槽、钻孔、车削成形面等，如图 2-3-1 所示。

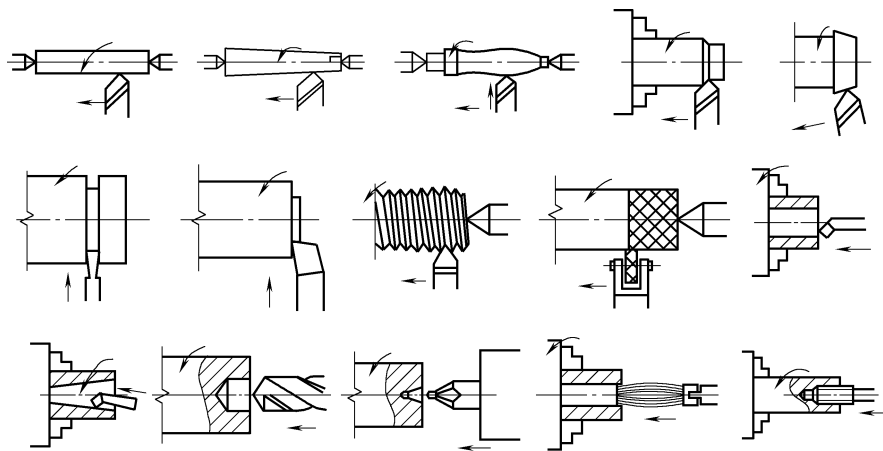


图 2-3-1 数控车床的加工

第二节 数控车床的切削要素

一、车削运动的基本概念

车削加工是通过工件和刀具的相对运动来切除工件表面的金属余量，以获得形状、尺寸和表面加工质量符合技术要求的合格零件的加工方法。

刀具和工件的相对运动分为主运动、进给运动和辅助运动（如分度运动）。主运动是使刀具切削工件余量所需要的主要运动，主运动速度用 v_c （m/s 或 m/min）表示，也称切削速度。进给运动是使刀具的切削能连续进行的运动，进给运动速度用 v_f （mm/s 或 mm/min）表示，或者用工件（车削）每回转一周时的进给量 f （mm/r）表示。

二、车削运动的用量

数控车床的车削用量包括背吃刀量（切削深度）、主轴转速或切削速度、进给量（或进给速度）。

1. 背吃刀量 a_p （切削深度）

当刀具不能一次吃刀就能切掉工件上的金属层时，还需由操作者在一次进给后再沿半径方向完成吃刀运动，习惯上称每次吃刀的深度为背吃刀量，以 a_p 表示，

单位为 mm。背吃刀量 a_p 根据机床、夹具、刀具和零件的刚度以及机床功率来确定。在工艺系统刚度允许的条件下，应该尽可能取较大的切削用量，以减少进给次数，提高生产效率。若能一次切削所有加工余量，最好一次完成，但当零件精度要求较高时，应根据要求选取最后一道工序的加工余量。数控车削的精加工余量小于普通车床，一般取 0.1 ~ 0.5mm，加工余量的确定见表 2-3-1。

加工余量的计算式为
$$a_p = (d_w - d_m) / 2$$
 式中， d_w 为待加工表面直径 (mm)； d_m 为已加工表面直径 (mm)。

表 2-3-1 车削加工的加工余量 (单位：mm)

普通精度轧制件用于轴类（外旋转表面）零件的数控车削加工余量											
直 径	表面加工方法	直径余量（按照轴长取）									
		120		120 ~ 260		260 ~ 500		500 ~ 800		800 ~ 1250	
<30	粗车和一次车	1.1	1.3	1.7	1.7	—	—	—	—	—	—
	半精车	0.45	0.45	0.5	0.5	—	—	—	—	—	—
	精车	0.2	0.25	0.25	0.25	—	—	—	—	—	—
	精密车	0.12	0.13	0.15	0.15	—	—	—	—	—	—
30 ~ 50	粗车和一次车	1.1	1.3	1.8	1.8	2.2	2.2	—	—	—	—
	半精车	0.45	0.45	0.45	0.45	0.5	0.5	—	—	—	—
	精车	0.2	0.25	0.25	0.25	0.3	0.3	—	—	—	—
	精密车	0.12	0.13	0.13	0.14	0.16	0.16	—	—	—	—
50 ~ 80	粗车和一次车	1.1	1.5	1.8	1.9	2.2	2.3	2.3	2.6	—	—
	半精车	0.45	0.45	0.45	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	—	—
	精车	0.2	0.25	0.25	0.25	0.25	0.3	0.3	0.3	—	—
	精密车	0.12	0.13	0.13	0.15	0.14	0.16	0.17	0.18	—	—
80 ~ 120	粗车和一次车	1.2	1.7	1.9	2	2.2	2.3	2.7	2.7	3.4	3.4
	半精车	0.45	0.5	0.45	0.5	0.5	0.5	0.55	0.55	0.55	0.55
	精车	0.25	0.25	0.25	0.3	0.3	0.3	0.35	0.35	0.35	0.35
	精密车	0.12	0.15	0.13	0.16	0.16	0.18	0.2	0.2	0.2	0.2
120 ~ 180	粗车和一次车	1.3	2	2	2.1	2.2	2.3	2.7	2.7	3.5	3.5
										4.8	4.8

(续)

普通精度轧制件用于轴类（外旋转表面）零件的数控车削加工余量													
直 径	表面加工方法	直径余量（按照轴长取）											
		120		120 ~ 260		260 ~ 500		500 ~ 800		800 ~ 1250		1250 ~ 2000	
120 ~ 180	半精车	0.45	0.5	0.45	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.55	0.6	0.65	0.65
	精车	0.25	0.3	0.25	0.3	0.25	0.3	0.3	0.3	0.3	0.35	0.4	0.4
	精密车	0.13	0.16	0.13	0.16	0.15	0.17	0.17	0.18	0.2	0.21	0.27	0.27
180 ~ 260	粗车和一次车	1.4	2.3	2.2	2.4	2.4	2.6	2.8	2.9	3.5	3.6	4.8	5
	半精车	0.45	0.5	0.45	0.5	0.5	0.5	0.5	0.55	0.55	0.6	0.65	0.65
	精车	0.25	0.3	0.25	0.3	0.25	0.3	0.3	0.3	0.35	0.35	0.4	0.4
	精密车	0.13	0.17	0.14	0.17	0.15	0.18	0.17	0.19	0.2	0.22	0.27	0.27
模锻毛坯用于轴类（外旋转表面）零件的数控车削加工余量													
直 径	表面加工方法	直径余量（按照轴长取）											
		120		120 ~ 260		260 ~ 500		500 ~ 800		800 ~ 1250		1250 ~ 2000	
< 18	粗车和一次车	1.4	1.5	1.9	1.9	—	—	—	—	—	—	—	—
	精车	0.25	0.25	0.3	0.3	—	—	—	—	—	—	—	—
	精密车	0.14	0.14	0.15	0.15	—	—	—	—	—	—	—	—
18 ~ 30	粗车和一次车	1.5	1.6	1.9	2	2.3	2.3	—	—	—	—	—	—
	精车	0.25	0.25	0.25	0.3	0.3	0.3	—	—	—	—	—	—
	精密车	0.14	0.14	0.14	0.15	0.16	0.16	—	—	—	—	—	—
30 ~ 50	粗车和一次车	1.7	1.8	2	2.3	2.7	3	3.5	3.5	—	—	—	—
	精车	0.25	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.35	0.35	—	—	—	—
	精密车	0.15	0.15	0.15	0.16	0.17	0.19	0.21	0.21	—	—	—	—
50 ~ 80	粗车和一次车	2	2.2	2.6	2.9	2.9	3.4	3.6	4.2	5	5	—	—
	精车	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.35	0.35	0.4	0.45	0.45	—	—
	精密车	0.16	0.16	0.17	0.18	0.18	0.2	0.2	0.22	0.25	0.25	—	—
80 ~ 120	粗车和一次车	2.3	2.6	3	3.3	3.8	4.3	4.5	5.2	5.2	6.3	8.2	8.2
	精车	0.3	0.3	0.3	0.3	0.35	0.4	0.4	0.45	0.45	0.5	0.6	0.6
	精密车	0.17	0.17	0.18	0.19	0.21	0.23	0.24	0.26	0.26	0.3	0.38	0.38
120 ~ 180	粗车和一次车	2.8	3.2	4.2	4.6	4.5	5	5.6	6.2	6.7	7.5	—	—
	精车	0.3	0.35	0.3	0.4	0.4	0.45	0.45	0.5	0.55	0.6	—	—
	精密车	0.2	0.2	0.22	0.24	0.23	0.25	0.27	0.3	0.32	0.35	—	—

注：1. 直径小于 30mm 的毛坯按规定校直，不校直时必须增加直径，以达到能够补偿弯曲所需要的数值。

2. 阶梯轴按最大阶梯直径选取毛坯直径。

3. 表中每格前列数值是用中心孔安装时的车削余量，后列数值是用卡盘安装时的车削余量。

2. 主轴转速 n 和切削速度 v_c

(1) 轮廓车削时的主轴转速 主轴转速应该根据被加工部件的直径、零件和刀具的材料及加工性质等条件所允许的切削速度来确定。切削速度可通过计算、查表获取。对于使用交流变频调速的数控车床，由于其低速输出力矩小，因而切削速度不能太低。

轮廓切削主轴转速为 $n = 1000 v_c / (\pi D)$

式中， v_c 为切削速度 (m/s 或 m/min)； D 为工件最大外圆直径 (mm)。

(2) 车削螺纹时的主轴转速 在车削螺纹时，数控车床的主轴转速将受到螺纹的螺距（或导程）大小、驱动电动机的升降频特性及螺纹插补运算速度等多种因素影响，故对于不同的数控系统，推荐不同的主轴转速选择范围。

螺纹切削主轴转速为 $n \leq 1200 / P - k$

式中， P 为工件螺纹的螺距； k 为保险系数。

(3) 切削速度 切削速度的大小是用工件外圆上的线速度来表示的，记作 v_c ，单位为 m/s 或 m/min，切削速度 v_c 的方向即外圆线速度的方向。

切削速度计算式为 $v_c = \pi D n / 1000$

式中， n 为主轴转速 (r/s 或 r/min)； D 为工件最大外圆直径 (mm)。

硬质合金外圆车刀切削速度的参考值见表 2-3-2。

表 2-3-2 硬质合金外圆车刀切削速度的参考值 (单位：m/min)

工 件 材 料	热处理状态	$a_p = 0.3 \sim 2\text{mm}$	$a_p = 2 \sim 6\text{mm}$	$a_p = 6 \sim 10\text{mm}$
		$f = 0.08 \sim 0.3\text{mm/r}$	$f = 0.3 \sim 0.6\text{mm/r}$	$f = 0.6 \sim 1\text{mm/r}$
		$v_c / (\text{m/min})$	$v_c / (\text{m/min})$	$v_c / (\text{m/min})$
低碳钢、易切削钢	热轧	140 ~ 180	100 ~ 120	70 ~ 90
中碳钢	热轧	130 ~ 160	90 ~ 110	60 ~ 80
	调质	100 ~ 130	70 ~ 90	50 ~ 70
合金结构钢	热轧	100 ~ 130	70 ~ 90	50 ~ 70
	调质	80 ~ 110	50 ~ 70	40 ~ 60
工具钢	退火	90 ~ 120	60 ~ 80	50 ~ 70
灰铸铁	< 190HBW	90 ~ 120	60 ~ 80	50 ~ 70
	190 ~ 225HBW	80 ~ 110	50 ~ 70	40 ~ 60
铜及铜合金		200 ~ 250	120 ~ 180	90 ~ 120
铝及铝合金		300 ~ 600	200 ~ 400	150 ~ 200
铸铝合金 ($w_{Si} = 13\%$)		100 ~ 180	80 ~ 150	60 ~ 100

3. 进给量（进给速度）

进给速度是指在单位时间内，刀具沿进给方向移动的距离。进给速度选择原则：当工件的质量要求能够得到保证时，为了提高生产率，可以选择较高的进给速度；切断、车削深孔或精车削时，应选择较低的进给速度；刀具空行程，特别是在远距离回零时，可以设定较高的进给速度；进给速度应与主轴转速、背吃刀量相适应。

数控车床的进给速度用 v_f 表示，单位为 mm/min ，即在单位时间内，刀具相对于工件在进给方向上的位移量；生产中常用每转进给量来表示，记作 f ，单位为 mm/r ，即工件每转一转，刀具相对于工件在进给方向上的位移量。硬质合金车刀车外圆、端面进给量的参考值见表 2-3-3。

表 2-3-3 硬质合金车刀车外圆、端面进给量的参考值（单位： mm/r ）

工件材料	刀杆尺寸 (B/mm) × (H/mm)	工件直径 D_w/mm	背吃刀量 a_p/mm				
			$a_p \leq 3$	$3 < a_p \leq 5$	$5 < a_p \leq 8$	$8 < a_p \leq 12$	$a_p > 12$
碳素结 构钢、合 金结构钢 及耐热钢	16 × 25	20	0.3 ~ 0.4	—	—	—	—
		40	0.4 ~ 0.5	0.3 ~ 0.4	—	—	—
		60	0.5 ~ 0.7	0.4 ~ 0.6	0.3 ~ 0.5	—	—
		100	0.6 ~ 0.9	0.5 ~ 0.7	0.5 ~ 0.6	0.4 ~ 0.5	—
		400	0.8 ~ 1.2	0.7 ~ 1.0	0.6 ~ 0.8	0.5 ~ 0.6	—
	20 × 30 25 × 25	20	0.3 ~ 0.4	—	—	—	—
		40	0.4 ~ 0.5	0.3 ~ 0.4	—	—	—
		60	0.5 ~ 0.7	0.5 ~ 0.7	0.4 ~ 0.6	—	—
		100	0.8 ~ 1.0	0.7 ~ 0.9	0.5 ~ 0.7	0.4 ~ 0.7	—
		400	1.2 ~ 1.4	1.0 ~ 1.2	0.8 ~ 1.0	0.6 ~ 0.8	0.4 ~ 0.6
铸铁及铜 合金	16 × 25	40	0.4 ~ 0.5	—	—	—	—
		60	0.5 ~ 0.8	0.5 ~ 0.8	0.4 ~ 0.6	—	—
		100	0.8 ~ 1.2	0.7 ~ 1.0	0.6 ~ 0.8	0.5 ~ 0.7	—
		400	1.0 ~ 1.4	1.0 ~ 1.2	0.8 ~ 1.0	0.6 ~ 0.8	—
	20 × 30 25 × 25	40	0.4 ~ 0.5	—	—	—	—
		60	0.5 ~ 0.9	0.5 ~ 0.8	0.4 ~ 0.7	—	—
		100	0.9 ~ 1.3	0.8 ~ 1.2	0.7 ~ 1.0	0.5 ~ 0.8	—
		400	1.2 ~ 1.8	1.2 ~ 1.6	1.0 ~ 1.3	0.9 ~ 1.1	0.7 ~ 0.9

第三节 数控车床的切削方案与加工精度

在数控车床加工中，一般根据零件的加工精度、表面粗糙度、材料、结构形状、尺寸及生产类型确定零件表面的数控车削加工方案。

一、数控车削外回转表面及端面的加工方案

1) 加工公差等级为 IT7 ~ IT8 级、 Ra 0.8 ~ 1.6 μm 的除淬火钢以外的常用金属，可采用普通数控车床，按粗车、半精车、精车的方案加工。

2) 加工公差等级为 IT5 ~ IT6 级， Ra 0.2 ~ 0.64 μm 的除淬火钢以外的常用金属，可采用精密数控车床，按粗车、半精车、精车、细车的方案加工。

3) 加工公差等级高于 IT5 级， Ra 小于 0.08 μm 的除淬火钢以外的常用金属，可采用高等精密数控车床，按粗车、半精车、精车、精密车的方案加工。

4) 对于淬火钢等难车削材料，淬火前可采用粗车、半精车的方法，淬火后进行磨削加工。

二、数控车削内回转表面的加工方案

1) 加工公差等级为 IT8 ~ IT9 级、 Ra 1.6 ~ 3.2 μm 的除淬火钢以外的常用金属，可采用普通数控车床，按粗车、半精车、精车的方案加工。

2) 加工公差等级为 IT6 ~ IT7 级， Ra 0.2 ~ 0.64 μm 的除淬火钢以外的常用金属，可采用精密数控车床，按粗车、半精车、精车、细车的方案加工。

3) 加工公差等级高于 IT5 级， Ra 小于 0.2 μm 的除淬火钢以外的常用金属，可采用高等精密数控车床，按粗车、半精车、精车、精密车的方案加工。

4) 对于淬火钢等难车削材料，淬火前可采用粗车、半精车的方法，淬火后进行磨削加工。

第四节 数控车床零件加工的装夹与定位

一、数控车床定位的基准与基准的选择原则

1. 基准的基本概念

基准就是依据，是用来确定生产对象上几何要素间的几何关系所依据的那些点、线、面。在设计、加工、检验、装配机器零件和部件时，必须选择一些点、线、面，根据它们来确定其他点、线、面的尺寸和位置，那些作为依据的点、线、面就叫做基准。

根据基准功用不同，分为设计基准和工艺基准，设计基准是在设计图样上所

采用的基准；工艺基准是在工艺过程中所采用的基准。按在工艺过程中用途的不同，工艺基准又可分为四类：工序基准、定位基准、测量基准、装配基准。

定位基准是在加工中用做定位的基准。定位基准按使用情况可分为两种：定位粗基准和定位精基准。定位粗基准是用未加工的表面作定位基准；定位精基准是用已加工表面作为定位基准。

定位精基准按使用情况不同又可分为两种：基本精基准——加工时是定位基准，装配时又是装配基准（如齿轮的内孔）；辅助精基准——当零件上没有合适的表面作定位基准时，为便于安装和易于获得所需的加工精度，在工件上特意做出专门供定位用的表面，仅在加工中起作用，在装配中不起作用（如轴类零件加工中的中心孔就是辅助精基准）。

2. 数控车床定位基准选择的原则

（1）基准重合原则 为避免基准不重合误差，方便编程，应选用工序基准（设计基准）作为定位基准，并使工序基准、定位基准、编程原点三者统一，这是最优先考虑的方案。因为当加工面的工序基准与定位基准不重合，且加工面与工序基准不在一次安装中同时加工出来的情况下，会产生基准不重合误差。

（2）基准统一原则 在多工序或多次安装中，选用相同的定位基准，这对数控加工保证零件的位置精度非常重要。

（3）便于装夹原则 所选择的定位基准应能保证定位准确、可靠，定位、夹紧机构简单，操作方便，能加工尽可能多的工序。

（4）便于对刀原则 批量加工时，在工件坐标系已确定的情况下，采用不同的定位基准为对刀基准建立工件坐标系，会影响对刀的方便，有时甚至无法对刀，这时就要分析定位方案是否能满足对刀操作的要求，否则原设工件坐标系须重新设定。

二、数控车床工件的定位

由于数控车削编程和对刀的特点，工件径向定位后要保证工件坐标系 Z 轴与机床主轴轴线同轴，同时要保证加工表面径向的工序基准（或设计基准）与机床主轴回转中心线的位置满足工序（或设计）要求。如工序要求加工表面轴线与工序基准表面轴线同轴，这时工件坐标系 Z 轴即为工序基准表面的轴线，可采用自定心卡盘以工序基准为定位基准自动定心装夹，或采用两顶尖（工序基准为工件两中心孔）定位装夹；若工序要求加工表面轴线与工序基准表面轴线有偏心，则采用偏心卡盘、偏心顶尖或专用夹具装夹。偏心卡盘、偏心顶尖或专用夹具的中心（为定位基准）到主轴回转中心线的距离，要满足加工表面中心线与工序基准（与定位基准重合）的偏心距离要求，这时工件坐标系 Z 轴只能作为加工表面的轴线。工件轴向定位后，要保证加工表面轴向的工序基准（或设计基准）与工件坐标系 X 轴的位置要求。批量加工时，若采用自定心卡盘装夹，工件轴向定位基准

可选工件的左端面或左侧其他台阶面；若采用两顶尖装夹，为保证定位准确，工件两中心孔倒角可加工成圆弧形倒角，这时顶尖与中心孔圆弧形倒角接触为一条环线，轴向定位能准确地适应数控加工的精确性要求。

三、数控车床工件的装夹

1. 在自定心卡盘上装夹

自定心卡盘的三个卡爪是同步运动的，能自动定心，一般不需找正。自定心卡盘装夹工件方便、省时，自动定心好，但夹紧力较小，所以适用于装夹外形规则的中、小型工件。自定心卡盘可装成正爪和反爪两种形式。反爪用来装夹直径较大的工件。用自定心卡盘装夹精加工过的表面时，被夹住的工件表面应包一层铜皮，以免夹伤工件表面。

数控车床多采用自定心卡盘夹持工件，轴类工件还可使用尾座顶尖支持工件。数控车床主轴转速较高，为便于工件夹紧，多采用液压高速动力卡盘。这种卡盘在生产厂已通过了严格平衡检验，具有高转速（极限转速可达 8000r/min 以上）、高夹紧力（最大推拉力为 2000 ~ 8000N）、高精度、调爪方便、通孔、使用寿命长等优点。通过调整液压缸的压力，可改变卡盘的夹紧力，以满足夹持各种薄壁和易变形工件的特殊需要。还可使用软爪夹持工件，软爪弧面由操作者随机配制，可获得理想的夹持精度。为减少细长轴加工时的受力变形，提高加工精度，以及在加工带孔轴类工件内孔时，可采用液压自动定心中心架，其定心精度可达 0.03mm。

2. 在两顶尖之间装夹

对于长度尺寸较大或加工工序较多的轴类工件，为保证每次装夹时的装夹精度，可用两顶尖装夹。两顶尖装夹工件方便，不需找正，装夹精度高，但必须先在工件的两端面钻出中心孔。该装夹方式适用于多工序加工和精加工。用两顶尖装夹工件时需注意的事项：前后顶尖的连线应与车床主轴轴线同轴，否则车出的工件会产生锥度误差；尾座套筒在不影响车刀切削的前提下，应尽量伸出得短些，以增加刚性，减少振动；中心孔应形状正确，表面粗糙度值小，轴向精确定位时，中心孔倒角可加工成准确的圆弧形倒角，并以该圆弧形倒角与顶尖锥面的切线为轴向定位基准定位；两顶尖与中心孔的配合应松紧合适。

3. 用卡盘和顶尖装夹

用两顶尖装夹工件虽然精度高，但刚性较差。因此，车削质量较大的工件时要一端用卡盘夹住，另一端用后顶尖支撑。为了防止工件由于切削力的作用而产生轴向位移，必须在卡盘内装一限位支承，或利用工件的台阶面限位（见图 2-3-2）。这种方法比较安全，能承受较大的轴向切削力，安装刚性好，轴向定位准确，所以应用比较广泛。

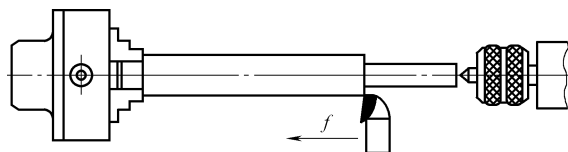


图 2-3-2 用卡盘和顶尖装夹

4. 用双自定心卡盘装夹

对于精度要求高、变形要求小的细长轴类零件，可采用双主轴驱动式数控车床加工，机床两主轴轴线同轴、转动同步，零件两端同时分别由自定心卡盘装夹并带动旋转，这样可以减小切削加工时切削力矩引起的工件扭转变形。一般汽车发动机曲轴的数控车床加工就是采用此种方式。

第五节 数控车床使用的刀具

数控机床加工时都必须采用数控刀具，数控刀具主要是指数控车床、数控铣床、加工中心等机床上所使用的刀具。从现实情况看，应从广义上来理解“数控机床刀具”的含义。随着数控机床结构、功能的发展，现在数控机床所使用的刀具不是普通机床所采用的“一机一刀”的模式，而是多种不同类型的刀具同时在数控机床的主轴上（刀盘上）轮换使用，可以达到自动换刀的目的。

数控刀具从结构上可分为：①整体式，由整块材料磨制而成，使用时可根据不同用途将切削部分修磨成所需要的形状；②镶嵌式，它分为焊接式和机夹式，机夹式又根据刀体结构的不同，可分为不转位和可转位两种；③减振式，当刀具的工作臂长度与直径比大于 4 时，为了减少刀具的振动，提高加工精度，所采用的一种特殊结构的刀具称为减振式刀具，主要用于镗孔；④内冷式，刀具的切削液通过机床主轴或刀盘传递到刀体内部，由喷孔喷射到切削刃部位；⑤特殊形式包括强力夹紧、可逆攻螺纹、复合刀具等。目前数控刀具主要采用机夹可转位刀具。

数控刀具根据制造所采用的材料不同可分为高速钢刀具、硬质合金刀具、陶瓷刀具、立方氮化硼刀具、聚晶金刚石刀具。目前数控机床用得最普遍的是硬质合金刀具。

一、数控刀具的特点与要求

1. 数控刀具的特点

(1) 刀具有很高的切削效率 由于所使用的机床设备价格昂贵，所以希望提高加工效率。数控机床正在向高速、高刚度和大功率发展，车床和车削中心的主轴转速都在 8000r/min 以上。硬质合金刀具的切削速度将提高到 500 ~ 600m/min，

陶瓷刀具的切削速度将提高到 $800 \sim 1000\text{m/min}$ 。因此，现代刀具必须具有能够承受高速切削和强力切削的性能。目前数控车床上使用涂层硬质合金刀具、超硬刀具和陶瓷刀具所占的比例不断增加。数控加工中应尽量使用优质高效刀具。

(2) 数控刀具具有高的精度和重复定位精度 由于一些零件加工精度很高，因此数控刀具的精度、刚度和重复定位精度必须与高的加工精度相适应。另外，刀具的刀柄与快换夹头间或与机床锥孔间的连接部分有高的制造、定位精度。所加工的零件日益复杂和精密，这就要求刀具必须具备较高的形状精度。

(3) 要求刀具具有很高的可靠性和寿命 数控机床采用精细化加工刀具，精度高、不需预调，更换刀具或更换刀片即能满足加工要求的刀具，在数控机床上为了保证产品质量，对刀具实行强迫换刀制或由数控系统对刀具寿命进行管理，所以，刀具工作的可靠性已上升为选择刀具的关键指标。为满足数控加工及对难加工材料的要求，数控机床上所用的刀具材料应具有高的切削性能和刀具寿命。不但其切削性能要好，而且一定要性能稳定，同一批刀具在切削性能和刀具寿命方面不得有较大差异，以免在无人看管的情况下，因刀具先期磨损和破损造成加工工件的大量报废，甚至损坏机床。

(4) 实现刀具尺寸的预调和快速换刀 刀具结构应能预调尺寸，以能达到很高的重复定位精度。如果数控机床采用人工换刀，则使用快换夹头。对于有刀库的加工中心，则实现自动换刀。

(5) 具有一个比较完善的工具系统 模块式工具系统能更好地适应多品种零件的生产，且有利于工具的生产、使用和管理，能有效地减少使用厂的工具储备。配备完善的、先进的工具系统是用好数控机床的重要一环。

(6) 建立刀具管理系统 在加工中心和柔性制造系统出现后，刀具管理相当复杂。刀具数量大，要对全部刀具进行自动识别，记忆其规格尺寸、存放位置、已切削时间和剩余切削时间等。还需要管理刀具的更换、运送，刀具的刃磨和尺寸预调等。

(7) 应有刀具在线监控及尺寸补偿系统 以解决刀具损坏时能及时判断、识别并补偿，防止工件出现废品和意外事故。

2. 数控刀具的要求

(1) 高硬度 刀具的材料硬度必须高于被加工工件材料的硬度，否则，在高温高压下就不能保持刀具锋利的几何形状。

(2) 足够的强度与韧性 刀具切削部分的材料在切削时要承受很大的切削力和冲击力。刀具材料的抗弯强度表示它的强度大小，冲击韧性表示它的韧性大小，它们反映了刀具抗脆性断裂和抗崩刃的性能。

(3) 高的耐磨性与耐热性 刀具材料的耐磨性是指抵抗磨损的能力，刀具材料硬度越高、刀具组织越均匀，其耐磨性越好。耐热性通常用刀具在高温下保持较高硬度的性能来衡量，高温下硬度越高，耐热性越好，刀具在高温的抗变形能

力和耐磨的能力也就越强。

(4) 良好的导热性 材料的导热性用热导率表示,导热性越好,其耐热冲击与抗热裂的性能也就越强,当连续切削时,能够降低切削温度,有利于减小刀具的磨损。

(5) 良好的工艺性 刀具要有良好的可加工性,包括可锻造、焊接、切削加工、热处理,便于制造。

(6) 抗粘接性和化学稳定性 刀具与工件的材料分子在高压作用下,抵抗相互吸附而产生粘接的能力叫抗粘接性,刀具在高温下不发生化学反应叫化学稳定性,刀具应具有这两个性能。

二、刀具的材料

现今所采用的刀具材料,大体上可分为高速钢、硬质合金、陶瓷、立方氮化硼、金刚石等。

1. 高速钢材料

自发明高速钢以来,经过多次改进后被大量使用,大体上可分为 W 系和 Mo 系两大类。其主要特征有:合金元素含量多且结晶颗粒比其他工具钢细,淬火温度极高(1200℃)而淬透性极好,可使刀具整体的硬度一致。回火时有明显的二次硬化现象,甚至比淬火硬度更大,耐回火软化性较高,在 600℃ 仍能保持较大的硬度,较其他工具钢耐磨性好且比硬质合金韧性好,但压延性较差,热加工困难,耐热冲击较弱。因此高速钢刀具仍是数控机床刀具的选择对象之一。目前国内外应用比较普遍的高速钢刀具材料以 WMo、WMoAl、WMoCo 为主,其中,WMoAl 是我国特有的品种。普通高速钢有 W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2、W9Mo3Cr4V 等;高性能高速钢有 W12Mo3Cr4V3Co5Si、W6Mo5Cr4V2Al 等。

2. 硬质合金材料

硬质合金是将钨钴类(WC)、钨钛钴类(WC-TiC)、钨钛钽(铌)钴类(WC-TiC-TaC)等硬质碳化物以 Co 为结合剂烧结而成的物质,由德国的 Krupp 公司于 1926 年发明,其主体为 WC-Co 系,在铸铁、有色金属和非金属的切削中大显身手。1929~1930 年前后, TiC 以及 TaC 等添加的复合碳化物系硬质合金在黑色金属的切削中显示出极好的性能。于是,硬质合金得到了很大程度的普及。硬质合金高碳化物的含量超过高速钢,具有高硬度、高熔点、化学稳定性好和热稳定性好的特点,切削效率是高速钢刀具的 5~10 倍,但硬质合金韧性差,脆性大,承受冲击和振动的能力低。硬质合金现在仍是刀具的主要材料。

ISO 标准主要以硬质合金的硬度、抗弯强度等指标为依据,把硬质合金刀片材料大致分为 P、M、K 三大类。

(1) K 类 即国家标准 YG 类,成分为 WC + Co,适于加工短切屑的黑色金属、有色金属及非金属材料。主要成分为碳化钨和质量分数为 3%~10% 的钴,有

时还含有少量的碳化钽等添加剂。常用的有 YG3、YG6、YG8 等，主要加工铸铁及有色金属。

(2) P 类 即国家标准 YT 类，成分为 WC + TiC，适于加工长切屑的黑色金属。主要成分为碳化钛、碳化钨和钴（或镍），有时加入碳化钽等添加剂。常用的有 YT5、YT14、YT15、YT30 等，主要用于加工各种钢料。

(3) M 类 即国家标准 YW 类，成分为 WC + TiC + TaC，适于加工长切屑或短切屑的黑色金属和有色金属。成分和性能介于 K 类和 P 类之间，可用来加工钢和铸铁及有色金属。

以上为一般切削工具所用硬质合金的大致分类。在此之外，还有超微粒子硬质合金，可以认为属于 K 类。但因其烧结性能上要求结合剂 Co 的含量较高，故高温性能较差，大多只适用于钻、铰等低速切削工具。

在国际标准（ISO）中通常又分别在 K、P、M 三种代号之后附加 01、05、10、20、30、50 等数字更进一步细分。一般来讲，数字越小者，硬度越高，但韧性越差；而数字越大，则韧性越好，硬度越低。表 2-3-4 中大致显示了硬质合金刀具的成分及其物理特性。按照目前 ISO 标准的分类，将世界上主要的硬质合金牌号列于表 2-3-5。

表 2-3-4 硬质合金刀具的成分及其物理特性

ISO 分类		质量分数（%）			密度 /(g/ cm ³)	硬度 HV30 /(10MPa)	抗弯强度 /MPa	抗压强度 /MPa	弹性模量 /GPa	线膨胀系数 /(× 10 ⁻⁶ · ℃ ⁻¹)	热导率 /[W/ (m · K)]
		WC	TiC + TaC	Co							
P 类	P10	63	28	9	10. 7	1600	1300	4600	530	6. 5	29. 3
	P20	76	14	10	11. 9	1500	1500	4800	540	6	33. 49
	P30	82	8	10	13. 1	1450	1750	5000	560	5. 5	58. 62
	P40	75	12	13	12. 7	1400	1950	4900	560	5. 5	58. 62
	P50	68	15	17	12. 5	1300	2200	4000	520	—	—
M 类	M10	84	10	6	13. 1	1700	1350	5000	580	5. 5	50. 24
	M20	82	10	8	13. 4	1550	1600	5000	570	5. 5	62. 8
	M30	81	10	9	14. 4	1450	1800	4800	—	—	—
	M40	79	6	15	13. 6	1300	2100	4400	540	—	—
K 类	K01	92	4	4	15. 0	1800	1200	—	—	—	—
	K10	92	2	6	14. 8	1650	1500	5700	630	5	79. 55
	K20	92	2	6	14. 8	1550	1700	5000	620	5	79. 55
	K30	89	2	9	14. 4	1400	1900	4700	580	—	71. 18
	K40	88	—	12	14. 3	1300	2100	4500	570	5. 5	58. 82

表 2-3-5 世界主要硬质合金牌号

ISO		国家标准 YB	株洲 基本型	山特维克 基本型	肯纳	东芝	三菱	黛杰 工业	山高 工具
P	01	YT30		S1P	K165	TX05	NX33	SRN	S1F
	10	YT15	YC10	S10	K5H K45	TX10D TX10S	STi10T	SR10 SRT	S10M
	20	YT14	YC20. 1	SMA	K29 K45	TX20 TX25	STi20	SRT, SR20 DX30	S25M
	30	YT5	YC30 YC30S	SM30 SMA	K21 KM	TX30 UX30		SR30, DX30 DX25	S35M
	40		YC40	S6, R4 SMA	K420 K420	TX40		SR30, DX35	S60M
M	10	YW1	YM10	R1P	K68 K313	TU10		UMN UN10	S10M
	20	YW2	YM20	H13A	K313 K420, K40	TU20 UX25	UTi20T	DX25 UM20, DTU	H15 S25M
	30		YM30	H10F	K420 K2S	UX30	UT20T	DX3, DTU UMS	HX S35M
	40			R4		TU40		UM40	S60M
K	01	YG3		H1P		TH03	HTi05T	KG03	
	10	YG6 X	YD10. 1 YD10. 2	H10A H1P	K68, K6 K313	TH10 G1F	HTi10	KG10, KT9CR1	H15 890
	20	YG6	YD20	H13A	K1	G2F KS20	HTi20T	KT9, CR1 KG20	883 HX
	30	YG8			K1	G3		KG30, LF12	

3. 陶瓷材料

陶瓷刀具基本上由两大类组成：一类为纯氧化铝类（白色陶瓷），另一类为TiC 添加类（黑色陶瓷）。另外还有在 Al₂O₃ 中添加 SiCW（晶须）、DrO₂（青色陶瓷）来增加韧性的，以及以 Si₃O₄ 为主体的陶瓷刀具。

陶瓷材料具有高硬度、高温强度好（2000℃ 也不会融熔）的特性，化学稳定性也很好，但韧性很差。对此，热等静压技术的普及对改善结晶的均匀细密性、提高陶瓷的各向性能均衡乃至提高韧性起到了很大的作用，作为切削工具用的陶瓷，抗弯强度已经提高到 900MPa 以上。

一般来说，陶瓷刀具相对于硬质合金和高速钢来说仍是极脆的材料，因此，多用于高速连续切削，如铸铁的高速加工。另外，陶瓷的热传导率相对于硬质合

金来说非常低,是现有工具材料中最低的一种,故在切削加工中加工热容易被积蓄,且对于热冲击的变化较难承受。所以,加工中陶瓷刀具很容易因热裂纹产生崩刃等损伤,且切削温度也较高。因陶瓷刀具材质的化学稳定性好、硬度高,故在耐热合金等难加工材料的加工中有广泛的应用。

金属切削加工所用刀具的研究开发,总是在不断地追求硬度高而自然遇到了韧性问题,金属陶瓷就是为解决陶瓷刀具的脆性而出现的,其成分以 TiC (陶瓷) 为基体, Ni、Mo (金属) 为结合剂,故取名为金属陶瓷。金属陶瓷刀具的最大优点是与被加工材料的亲和性极低,不易产生粘刀和积屑瘤现象,加工表面非常光洁平整,可谓精加工的佼佼者。但由于韧性差,大大限制了它的使用范围。通过添加 WC、TaC、TiN、TaN 等异种碳化物,可使其抗弯强度达到硬质合金的水平,因而得到了广泛的运用。

陶瓷刀具材料一般有 Al_2O_3 陶瓷、 Si_3N_4 陶瓷、 ZrO_2 陶瓷等。

4. 立方氮化硼材料 (CBN)

立方氮化硼是靠超高压、高温技术人工合成的新型刀具材料,其分子结构与金刚石相似,此材料由美国 CE 公司研制开发。它的硬度略逊于金刚石,但热稳定性远高于金刚石,并且与铁族元素亲和力小,不易产生“积屑瘤”。

CBN 粒子硬度高达 4500HV,热导率高,在大气中加热至 1300°C 仍能保持性能稳定。它与铁的反应性很低,是迄今为止能够加工铁系金属最硬的一种刀具材料。它的出现使无法进行正常切削加工的淬火钢、耐热钢的高速切削变成可能。硬度为 60~70HRC 的淬硬钢等高硬度材料均可采用 CBN 刀具进行切削。所以,在很多场合都以 CBN 刀具切削来取代迄今为止只能采用磨削来加工的工序,使加工效率得到了极大的提高。

切削加工普通灰铸铁时,一般来说线速度在 300m/min 以下采用涂层硬质合金,在 300~500m/min 以内采用陶瓷,在 500m/min 以上用 CBN 刀具材料。而且最近的研究表明,用 CBN 切削普通灰铸铁,当速度超过 800m/min 时,刀具寿命随着切削速度的增加反而更长。其原因一般认为在切削过程中,刃口表面会形成 Si_3N_4 、 Al_2O_3 等保护层替代切削刃的磨损。因此可以说, CBN 是超高速加工的首选刀具材料。

5. 金刚石材料

金刚石材料可分为天然金刚石与人造金刚石。金刚石刀具具有极高的硬度、良好的导热性和极小的摩擦因数,这类刀具使用寿命长,加工时零件的尺寸稳定。金刚石刀具与铁系金属有极强的亲和力,切削中刀具中的碳元素极易发生扩散而导致磨损。但与其他材料的亲和力很低,切削中不易产生粘刀现象,切削刃口可以磨得非常锋利。所以它只适用于加工有色金属和非金属材料,能得到高精度、高光亮的加工面,特别是 PCD 刀具 (聚晶金刚石刀具) 消除了金刚石的性能异向性,使其在高精加工领域中得到了普及。金刚石在大气中温度超过 600°C

时将被碳化而失去其本来性能，故金刚石刀具不宜用于可能会产生高温的切削中。

6. 涂层类刀具材料

涂层硬质合金刀片是在韧性较好的工具表面涂上一层耐磨损、耐熔着、耐反应的物质，使刀具在切削中具有既硬又不易破损的性能。

涂层的方法分为两大类：一类为物理涂层（PVD），另一类为化学涂层（CVD）。一般来说，物理涂层是在 550℃ 以下将金属和气体离子化后喷涂在工具表面；而化学涂层则是将各种化合物通过化学反应沉积在工具上形成表面膜，反应温度一般都在 1000 ~ 1100℃。最近低温化学涂层也已实用化，温度一般控制在 800℃ 左右。

常见的涂层材料有 TiC、TiN、TiCN、Al₂O₃、高速钢、金刚石等陶瓷材料。由于这些陶瓷材料都具有耐磨损（硬度高）、耐化学反应（化学稳定性好）等性能，所以就硬质合金的分类来看，既具备 K 类的功能，也能满足 P 类和 M 类的加工需要。也就是说，尽管涂层硬质合金刀具基体是 P、M、K 中的某一类，而涂层之后其所能覆盖的种类就相当广了。故在实际加工中对涂层刀具的选取不应拘泥于 P（YT）、M（YW）、K（YG）等划分，而是应该根据实际加工对象、条件以及各种涂层刀具的性能进行选取。其中 TiC 涂层有很高的硬度和耐磨性，可使切削速度提高 40%；TiN 涂层抗前面月牙洼磨损性能比 TiC 要强，最适合切削易粘刀的材料，使已加工表面粗糙度值减小，刀具寿命提高；Al₂O₃ 涂层在高温切削时，具有优越的抗高温氧化性和抗前面月牙洼磨损性，适合高速加工钢和铸铁；高速钢涂层有较高的热稳定性，与钢的摩擦因数低，而且与高速钢结合牢固，可用于钻头、丝锥、铣刀、滚刀等复杂刀具；金刚石涂层适用于加工表面粗糙度值高、抗磨粒磨损和抗腐蚀磨损的切削加工。

从使用的角度来看，涂层的厚度越厚越好。但涂层厚度一旦过厚，则易引起剥离，使涂层工具丧失本来的功效。一般情况下，用于连续高速切削的涂层厚度为 5 ~ 15 μm，多用 CVD 法制造。在冲击较强的切削中，特别要求涂层有较高的附着强度以及涂层对工具的韧性不产生太大的影响，涂层厚度大多控制在 2 ~ 3 μm，且多为 PVD 涂层。

涂层刀具的使用范围相当广，从非金属、铝合金到铸铁、钢以及高强度钢、高硬度钢和耐热合金、钛合金等难加工材料的切削均可使用，且普遍较硬质合金的性能要好。

目前，最先进的涂层技术也称 ZX 技术，是利用纳米技术和薄膜涂层技术，使每层膜厚为 1nm 的 TiN 和 TiN 超薄膜交互重叠约 2000 层进行蒸着累积而成，在世界上首次实现将其实用化，这是继 TiC、TiN、TiCN 后的第四代涂层。其特点是远比以往的涂层硬，接近 CBN 的硬度，寿命是一般涂层的 3 倍，大幅度提高了耐磨损性，产品应用更加广泛。

7. 数控刀具材料的对比

上述五大类刀具材料，从总体上分析，材料的硬度、耐磨性，金刚石最高，依次降低到高速钢。而材料的韧性则是高速钢最高，金刚石最低。图 2-3-3 中显示了目前实用的各种刀具材料根据硬度和韧性排列的大致顺序。涂层刀具材料具有较好的实用性能，也是能使硬度和韧性并存的手段之一。在数控机床中，采用最广泛的是硬质合金类。因为这类材料目前从经济性、适应性、多样性、工艺性等各方面，综合效果都优于陶瓷、立方氮化硼、聚晶金刚石。

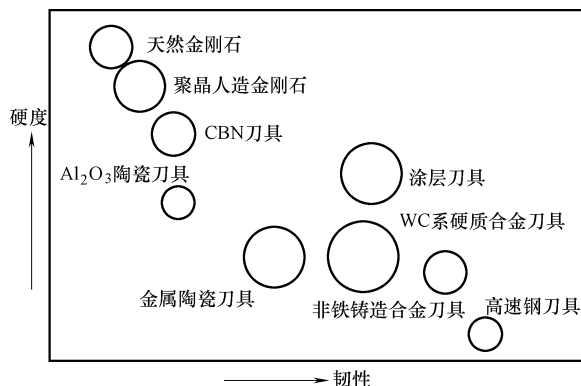


图 2-3-3 刀具材料硬度与韧性的关系

三、数控刀具的失效形式及对策

在切削过程中，刀具磨损到一定限度，切削刃崩刃或破损，切削刃卷刃（塑变）时，刀具就丧失其切削能力或无法保障加工质量，称为刀具失效。刀具破损的主要形式和产生原因及对策如下：

1. 后刀面磨损

后刀面磨损是由机械应力引起的出现在后刀面上的摩擦磨损。由于刀具材料过软，刀具的后角偏小，加工过程中切削速度太高，进给量太小，造成后刀面磨损过量，使得加工表面尺寸精度降低，增大了摩擦力。应该选择耐磨性高的刀具材料，同时降低切削速度，提高进给量，增大刀具后角，这样才能避免或减少后刀面磨损现象的发生。

2. 边界磨损

主切削刃上的边界磨损常见于与工件的接触面处。主要原因是工件表面硬化、锯齿状切屑造成的摩擦，影响切屑的流向并导致崩刃。只有降低切削速度和进给速度，同时选择耐磨的刀具材料并增大前角，才能使切削刃更加锋利。

3. 前刀面磨损（月牙洼磨损）

在前刀面上由摩擦和扩散导致的磨损叫前刀面磨损。前刀面磨损主要由切屑

和工件材料的接触以及对发热区域的扩散引起。另外刀具材料过软，加工过程中切削速度太高，进给量太大，也是前刀面磨损产生的原因。前刀面磨损会使刀具产生变形、干扰排屑、降低切削刃强度。降低切削速度和进给速度，同时选择涂层硬质合金材料，可以减少前刀面的磨损。

4. 塑性变形

塑性变形是切削刃在高温或高应力作用下产生的变形。切削速度、进给速度太高以及工件材料中硬质点的作用，刀具材料太软和切削刃温度很高等，是产生塑性变形的的主要原因。它会影响切屑的形成质量，有时也可导致崩刃。可采取降低切削速度和进给速度，选择耐磨性高和热导率高的刀具材料等对策，以减少塑性变形的产生。

5. 积屑瘤

积屑瘤是工件材料在刀具上的粘附。积屑瘤会降低加工表面质量并会改变切削刃形状，最终导致崩刃。采取的对策有提高切削速度，选择涂层硬质合金或金属陶瓷等与工件材料亲和力小的刀具材料，并使用切削液。

6. 刃口剥落

切削刃上出现一些很小的缺口和不均匀的磨损，即为刃口剥落。主要由断续切削、切屑排除不流畅造成。在开始加工时降低进给速度，选择韧性好的刀具材料和切削刃强度高的刀片，就可以避免刃口剥落的产生。

7. 崩刃

崩刃将损坏刀具和工件。主要原因是刃口的过度磨损和较高的应力，也可能是由于刀具材料过硬、切削刃强度不够及进给量太大造成的。应选择韧性好的合金材料，加工时减小进给量和切削深度，并选用高强度或刀尖圆角较大的刀片。

8. 热裂纹

热裂纹是由于断续切削时温度变化产生的垂直于切削刃的裂纹。热裂纹可降低工件表面质量并导致刃口剥落。应选择韧性好的合金材料，同时减小进给量和切削深度，并进行干式冷却或在湿式切削时有充足的切削液。

四、数控车削刀具种类和用途

数控车削刀具一般分为三类：尖形车刀、圆弧形车刀和成形车刀。常用车刀种类、形状和用途如图 2-3-4 所示。

1. 尖形车刀

尖形车刀是以直线形切削刃为特征的车刀。这类车刀的刀尖由直线形的主副切削刃构成，都可以参加切削，在粗加工凹形面时可来回进行加工，使进给路线最短。尖形车刀几何参数的选择与普通车削时基本相同，但应结合数控加工的特点进行全面考虑，并兼顾车刀刀尖的强度。一般可与 60° 硬质合金螺纹刀结合使用，但不能加工有台阶的零件。在加工零件时，其零件的轮廓形状主要由一个独

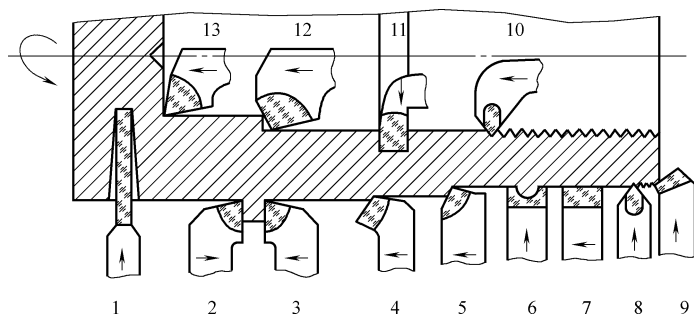


图 2-3-4 常用车刀的种类、形状和用途

- 1—切断刀 2—90°左偏刀 3—90°右偏刀 4—弯头车刀 5—直头车刀
6—成形车刀 7—宽刃精车刀 8—外螺纹车刀 9—端面车刀 10—内螺纹车刀
11—内槽车刀 12—通孔车刀 13—盲孔车刀

立的刀尖或一条直线形主切削刃位移后得到，这与其他车刀加工时所得零件轮廓形状的原理不同。如 90°内外圆车刀、左右端面车刀、切断（车槽）车刀以及刀尖倒角很小的各种外圆和内孔车刀。

2. 圆弧形车刀

圆弧形车刀是以一圆弧或轮廓度误差很小的圆弧形切削刃为特征的车刀。该车刀圆弧刃每一点都是圆弧车刀的刀尖点，因此刀位点不在圆弧上，而在该圆弧的圆心上。车刀圆弧半径理论上与被加工工件的形状无关，只需按零件轮廓编程后进行半径补偿即可。圆弧形车刀具有宽刃切削性质，能使精车余量保持均匀而改善切削性能。选择刀具半径时要考虑两点：第一，车刀切削刃的圆弧半径应小于零件凹形轮廓上的最小曲率半径，以免发生干涉；第二，该半径不宜选择太小，否则不但制造困难，还会因刀尖强度太弱或刀体散热能力差而导致车刀损坏。圆弧形车刀可以用于车削内、外表面，特别适宜于车削各种光滑连接（凹形）的成形面。

3. 成形车刀

成形车刀又称样板车刀，其加工零件的轮廓形状完全由车刀切削刃的形状和尺寸决定。如工件需要加工的内容为外圆、端面、槽和螺纹，就需要选择外圆车刀、切槽刀、60°螺纹车刀。常见的成形车刀有小半径圆弧车刀、非矩形槽车刀和螺纹车刀等。

五、数控车机夹可转位车刀

机夹可转位数控刀具常见的品种、规格有 2000 多种，并要求有各种各样的可转位硬质合金刀片、陶瓷刀片等其他材料刀片与之配套。常见的有各种车刀、孔加工刀具、复合刀具等类型。为了减少换刀时间和方便对刀，便于实现机械加工的标准，数控车削加工时，应该尽可能选择机夹刀和机夹刀片。

1. 可转位刀片代码

从刀具的材料应用方面，数控机床用刀具材料主要是各类硬质合金。从刀具

的结构方面，数控机床主要采用镶嵌式机夹可转位刀片的刀具。因此对硬质合金可转位刀片的运用是数控机床操作者必须了解的内容之一。

选用机夹式可转位刀片，首先要了解可转位刀片型号表示规则、各代码的含义。按国际标准 ISO 1832—2012，可转位刀片的代码表示方法是由 10 位字符串组成的，其排列如下（见图 2-3-5）：



图 2-3-5 可转位刀片的代码

其中每一位字符串代表刀片某种参数的意义：

- 1——刀片的几何形状及其夹角；
- 2——刀片主切削刃后角（法后角），机夹式可转位刀片的法后角有 A（3°）、B（5°）、C（7°）、D（15°）、E（20°）、F（25°）、G（30°）、N（0°）、P（11°）、O（其他角度）等；
- 3——公差，表示刀片内接圆 d 与厚度 s 的公差级别；
- 4——刀片形式、紧固方法或断屑槽；
- 5——刀片边长、切削刃长；
- 6——刀片厚度；
- 7——修光刃刀尖圆角半径 r （包括 0.2mm、0.4mm、0.8mm、1.2mm、1.6mm、2mm、2.4mm、3.2mm）、主偏角 κ_r ，或修光刃后角 α'_n ；
- 8——切削刃状态，尖角切削刃或倒棱切削刃；
- 9——进刀方向或倒刃宽度；
- 10——各刀具公司的补充符号或倒刃角度。

一般情况下第 8 和第 9 位的代码，在有要求时才填写。此外，各公司可以另外添加一些符号，用破折号将其与 ISO 代码相连接（如“——PF”代表断屑槽型）。可转位刀片用于车、铣、钻、镗等不同的加工方式，其代码的具体内容也略有不同，图 2-3-5 是车刀可转位刀片型号表示规则，每一位字符参数的具体含义可参考各公司的刀具样本。

举例：车刀可转位刀片 CNMG120408ENUB 公制型号表示含义：C—80°菱形刀片形状；N—0°法后角；M—刀尖转位尺寸公差（ $\pm 0.08 \sim \pm 0.18\text{mm}$ ）、内接圆公差（ $\pm 0.05 \sim \pm 0.13\text{mm}$ ）、厚度公差 $\pm 0.13\text{mm}$ ；G—圆柱孔双面断屑槽；12—内接圆直径 12mm；04—厚度 4.76mm；08—刀尖圆角半径 0.8mm；E—倒圆切削刃；N—无切削方向；UB—半精加工。

2. 可转位刀片的断屑槽槽型

为满足切削能断屑、排屑流畅、加工表面质量好、切削刃耐磨等综合性要求，可转位刀片制出各种断屑槽。目前，我国标准 GB/T 2080—2007 中所表示的槽形

为 V 形断屑槽，槽宽有 $V < 1\text{mm}$ 、 $V_1 = 1\text{mm}$ 、 $V_2 = 2\text{mm}$ 、 $V_3 = 3\text{mm}$ 、 $V_4 = 4\text{mm}$ 五种。各刀具制造公司都有自己的断屑槽槽型，选择具体断屑槽代号可参考各公司刀具样本。例如，日本三菱公司提供的根据被加工材料的不同性质及切削范围，提供最适合车削加工的断屑槽类型。

3. 可转位刀片的夹紧方式

可转位刀片的刀具由刀片、定位元件、夹紧元件和刀体所组成，为了使刀具能达到良好的切削性能，对刀片的夹紧方式有如下基本要求：①夹紧可靠，不允许刀片松动或移动；②定位准确，确保定位精度和重复精度；③排屑流畅，有足够的排屑空间；④结构简单，操作方便，制造成本低，转位动作快，缩短换刀时间。

常见可转位刀片的夹紧方式有杠杆式、楔块上压式、螺钉上压式等多种。图 2-3-6 列举了各种夹紧方式，以满足不同的加工范围。为给加工工序选择最合适的夹紧方式，已将它们按照适应性分为 1~3 个等级，其中 3 级表示最合适的选择，见表 2-3-6。

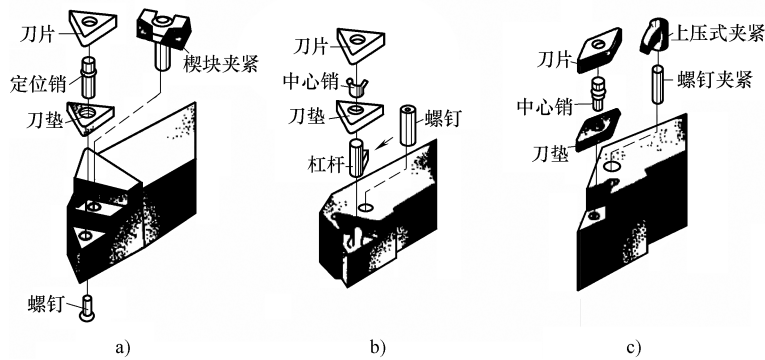


图 2-3-6 夹紧方式

a) 楔块上压式夹紧 b) 杠杆式夹紧 c) 螺钉上压式夹紧

表 2-3-6 各种夹紧方式最合适的加工范围

夹紧方式 加工范围	杠 杆 式	楔块上压式	螺钉上压式
可靠夹紧或紧固	3	3	3
仿形加工或易接近性	2	3	3
重复性	3	2	3
仿形加工或轻负荷加工	2	3	3
断续加工工序	3	2	3
外圆加工	3	1	3
内圆加工	3	3	3

4. 可转位刀片的选择

应根据被加工零件的材料、表面粗糙度要求和加工余量等条件来决定刀片的类型。这里主要介绍车削加工中刀片的选择方法，其他切削加工的刀片也可参考。

(1) 刀片材料选择 车刀刀片的材料主要有高速钢、硬质合金、涂层硬质合金、陶瓷、立方氮化硼和金刚石等。其中应用最多的是硬质合金和涂层硬质合金刀片。选择刀片材料主要依据被加工工件的材料、被加工表面的精度要求、切削载荷的大小以及切削过程中有无冲击和振动等。

(2) 刀片尺寸选择 刀片尺寸的大小取决于必要的有效切削刃长度 L ，有效切削刃长度与背吃刀量 a_p 和主偏角 κ_r 有关，如图 2-3-7 所示。使用时可查阅有关刀具手册。

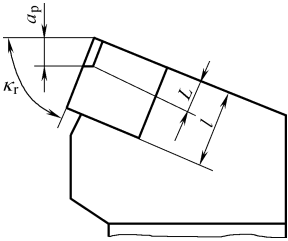


图 2-3-7 有效切削刃长度与背吃刀量 a_p 和主偏角 κ_r 的关系

(3) 刀片形状选择 刀片形状主要依据被加工工件的表面形状、切削方法、刀具寿命和刀片的转位次数等因素来选择。通常，刀尖角度影响加工性能的情况如图 2-3-8 所示。表 2-3-7 所示为被加工表面及适用主偏角 $45^\circ \sim 95^\circ$ 的刀片形状。具体使用时可查阅有关刀具手册。

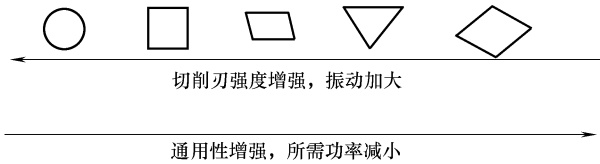
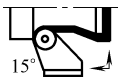
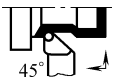
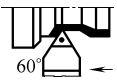
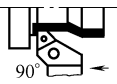


图 2-3-8 刀尖角度与性能关系

表 2-3-7 被加工表面与刀片形状

车削外圆表面	主偏角	45°	45°	60°	75°	95°
	刀片形状及加工示意图					
	推荐选用刀片	SCMA SPMR SCMM SNMM-8 SPUN SNMM-9	SCMA SPMR SCMM SNMG SPUN SPGR	TCMA TNMM-8 TCMM TPUN	SCMM SPUM SCMA SPMR SNMA	CCMA CCMM CNMM-7
车削端面	主偏角	75°	90°	90°	95°	
	刀片形状及加工示意图					

(续)

车削端面	主偏角	75°	90°	90°	95°	
	推荐选用刀片	SCMA SPMR SCMM SPUR SPUN CNMG	TNUN TNMA TCMA TPUM TCMM TPMR	CCMA	TPUN TPMR	
车削成形面	主偏角	15°	45°	60°	90°	
	刀片形状及加工示意图					
	推荐选用刀片	RCMM	RNNG	TNMM-8	TNMG	

(4) 刀片的刀尖半径选择 刀尖圆弧半径的大小直接影响刀尖的强度及被加工零件的表面粗糙度。刀尖圆弧半径大，表面粗糙度值增大，切削力增大且易产生振动，切削性能变坏，但切削刃强度增加，刀具前后刀面磨损减少。通常在切深较小的精加工、细长轴加工、机床刚度较差情况下，选用刀尖圆弧半径应较小些；而在需要切削刃强度高、工件直径大的粗加工中，选用刀尖圆弧半径应大些。国家标准 GB/T 2077—1987 规定刀尖圆弧半径的尺寸系列为 0.2mm、0.4mm、0.8mm、1.2mm、1.6mm、2mm、2.4mm、3.2mm。图 2-3-9 所示为刀尖圆弧半径与表面粗糙度、刀具寿命的关系。刀尖圆弧半径一般适宜选取进给量的 2~3 倍。

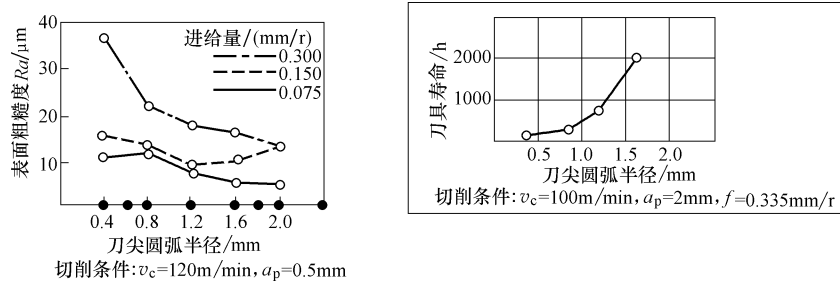


图 2-3-9 刀尖圆弧半径与表面粗糙度、刀具寿命关系

第六节 数控车床常用的量具

一、长度单位

国家标准规定，在机械工程图样上所标注的线性尺寸一般以毫米（mm）为单

位，且不需要标注计量单位的代号或名称，例如 500 即为 500mm。在国际上，有些国家采用英制单位，机械工程图样上所标注的英制尺寸是以英寸（in）为单位的，例如 0.06in，此外英制单位的数值还可以用分数的形式给出，如 3/4in。

毫米（mm）和英寸（in）可以互相转换，其换算关系如下：1in = 25.4mm，1mm = 0.03937in。机械工程上使用米制或英制长度单位的名称、代号与进位方法见表 2-3-8。

表 2-3-8 米制或英制长度单位的名称、代号与进位方法

长度单位	米	厘 米	毫 米	市 尺	英 尺	英 寸
米	1	100	1000	3	3. 28084	39. 3701
厘米	0. 01	1	10	0. 03	0. 03281	0. 3937
毫米	0. 001	0. 1	1	0. 003	0. 003281	0. 03937
市尺	0. 3333	33. 333	333. 33	1	1. 0936	13. 1234
英尺	0. 3048	30. 48	304. 8	0. 9144	1	12
英寸	0. 0254	2. 54	25. 4	0. 0762	0. 08333	1

二、游标卡尺

游标卡尺是最常用的中等精度的通用量具，其结构简单，使用方便。它可以直接测量出工件的外径、内径、长度、宽度和深度等尺寸，在生产中应用得十分广泛，游标卡尺的游标数值一般为 0.1mm、0.05mm、0.02mm 三种。按照样式不同，游标卡尺一般分为三用游标卡尺和双面游标卡尺。游标卡尺的基本使用方法如图 2-3-10 所示。

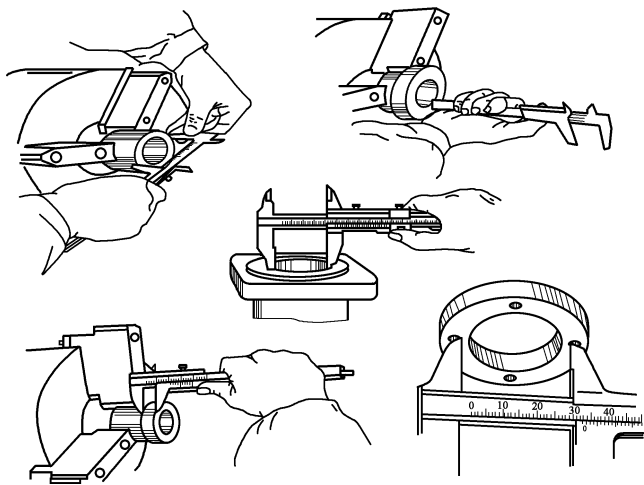


图 2-3-10 游标卡尺的基本使用方法

1. 三用游标卡尺

三用游标卡尺的结构形状如图 2-3-11 所示, 主要由尺身和游标等组成。使用时, 旋松固定游标用的紧固螺钉即可测量。下量爪用来测量工件的外径和长度, 上量爪用来测量孔径和槽宽, 深度尺用来测量工件的深度和台阶的长度。测量时, 移动游标使量爪与工件接触, 测得尺寸后, 最好把紧固螺钉旋紧后再读数, 以防止尺寸变动。

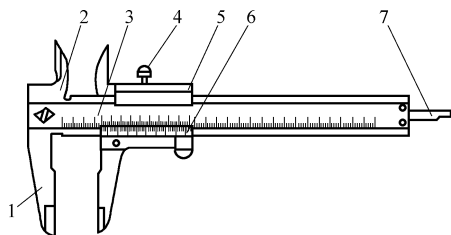


图 2-3-11 三用游标卡尺

1—下量爪 2—上量爪 3—尺身
4—紧固螺钉 5—尺框 6—游标 7—深度尺

2. 双面游标卡尺

双面游标卡尺的结构形状如图 2-3-12 所示, 为了调整尺寸方便和测量准确, 在游标上加了微调装置。旋紧固定微调装置的紧固螺钉 5, 再松开紧固螺钉 3, 用手转动滚花螺母 8, 通过小螺杆 9 即可微调游标。其上量爪 2 用来测量沟槽直径和孔距, 下量爪 1 用来测量工件的外径。测量孔时, 游标卡尺的读数必须加下量爪的厚度 b (b 一般为 10mm)。

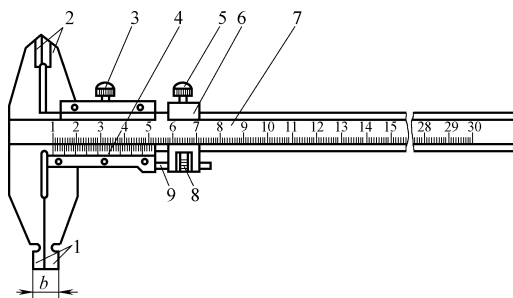


图 2-3-12 双面游标卡尺

1—下量爪 2—上量爪 3、5—紧固螺钉 4—游标 6—微调装置
7—尺身 8—滚花螺母 9—小螺杆

3. 电子数显游标卡尺

电子数显游标卡尺如图 2-3-13 所示, 其特点是读数直观准确, 使用方便且功能多样。当使用电子数显游标卡尺测量某一尺寸时, 数字显示部分就能清晰地显示出测量结果, 电子数显游标卡尺主要用于测量精密工件内、外径尺寸, 以及宽度、厚度、深度和孔距等。

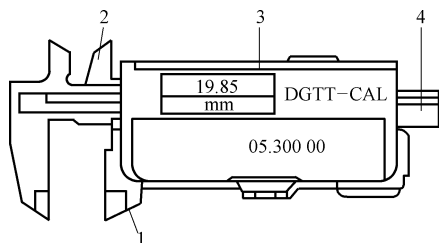


图 2-3-13 电子数显游标卡尺

1—下量爪 2—上量爪
3—游框显字机构 4—尺身

4. 游标卡尺的读数

0.05 (1/20) mm 精度游标卡尺, 尺身每一小格为 1mm, 游标刻线为 19, 等分成 20 格, 每格为 $19/20\text{mm} = 0.95\text{mm}$, 尺身刻线与游标刻线相对一格之差为 $(1 - 0.95)\text{mm} = 0.05\text{mm}$, 读数精度为 0.05mm。据此原理, 如果游标第 9 根刻线与尺身刻线对准, 则读数为 0.45mm。同理, 0.02 (1/50) mm 精度游标卡尺, 尺身每一小格为 1mm, 游标刻线为 49mm, 等分成 50 格, 每格为 $49/50\text{mm} = 0.98\text{mm}$, 游标与尺身相对一格之差为 $(1 - 0.98)\text{mm} = 0.02\text{mm}$, 读数精度为 0.02mm。据此, 如果游标第 11 根线与尺身刻线对准, 则读数为 0.22mm。

三、千分尺

千分尺是生产中最常用的一种精密量具, 千分尺的种类很多, 按照用途不同可以分为外径千分尺、内径千分尺、深度千分尺、内测千分尺、螺纹千分尺和壁厚千分尺等。数控车床上多用外径千分尺, 它的结构由尺架、固定测头、测微螺杆、测力装置和锁紧装置等组成, 如图 2-3-14 所示。

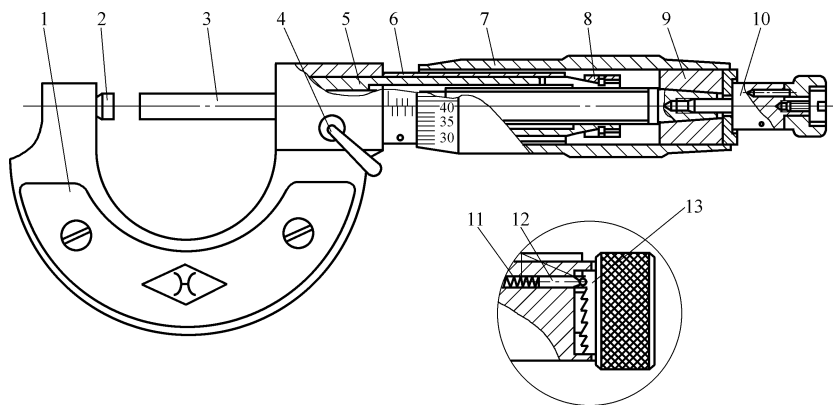


图 2-3-14 外径千分尺

- 1—尺架 2—砧座 3—测微螺杆 4—锁紧手柄 5—螺纹轴套 6—固定套筒
7—微分筒 8—螺母 9—接头 10—测力装置 11—弹簧 12—棘轮爪 13—棘轮

将工件放在外径千分尺中, 找正工件, 扭动微分筒, 然后读取数值。由于螺旋杆的长度受到制造工艺的限制, 其移动量通常为 25mm, 所以千分尺的测量范围分别为 0~25mm、25~50mm、50~75mm、75~100mm 等, 即每隔 25mm 为一挡。外径千分尺的使用如图 2-3-15 所示。

千分尺的固定套管上刻有基准线, 在基准线的上下侧有两排刻线, 上下两条相邻刻线的间距为 0.5mm。微分筒的外圆锥面上刻有 50 个刻度, 微分筒每转动一格, 测微螺杆移动 0.01mm, 所以千分尺的分度值为 0.01mm。测量工件时, 先转动千分尺的微分筒, 待测量螺杆的测量面接近工件被测表面时, 再

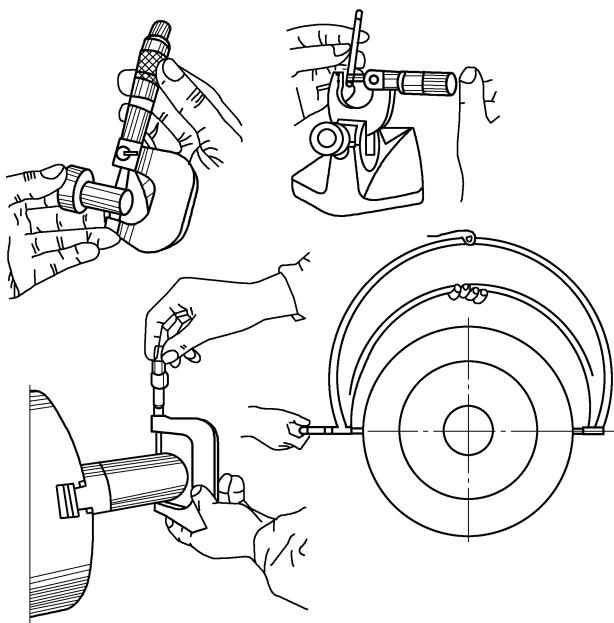


图 2-3-15 外径千分尺的使用

转动测力装置，使微分螺杆的测量面接近工件表面，当听到 2~3 声“咔咔”声响后，即停止转动，读取工件尺寸。为了防止尺寸变动，可转动锁紧装置，锁紧测微螺杆。读数时首先读取固定套筒上露出刻线的整毫米和半毫米数，注意固定套筒上下两排刻线的间距为每格 0.5mm；然后读取与固定套筒基准线对准的微分筒上的格数，每个格乘以千分尺的分度值 0.01mm，这两部分相加即为最终读数。

四、量规

在机械制造业成批和大批量生产中常使用量规来检测。量规的种类很多，按照检验的对象不同可分为检验圆柱形零件的量规、锥度量规、花键量规、深度量规、高度量规等。按量规的用途不同可分为工作量规、验收量规、校对量规。其中轴、孔极限工作量规的应用最广泛。

量规的形状与被检验的工件的形状相反，检验孔用塞规，检验轴用卡规，极限量规以通端与止端一起使用，当通端能通过被检验孔或轴，而止端不能通过时，则被检验的孔径与轴径为合格，否则不合格。

塞规的通端与止端，分别按照被检验孔的最小和最大极限尺寸来制造，并分别来控制该极限尺寸。卡规的通端与止端，分别按被检验轴的最大和最小极限尺

寸来制造，并分别控制该极限尺寸，如图 2-3-16 所示。

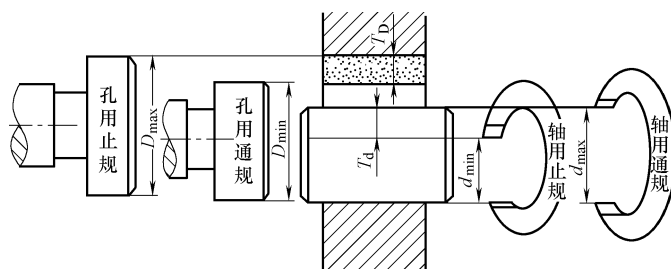


图 2-3-16 塞规与卡规

五、量具的合理使用

1. 游标卡尺的合理使用

1) 使用前用棉纱清除卡尺上的油脂和灰尘，然后合拢量爪检查尺身、游标上的“零”线是否对齐，检查尺框游标在移动时是否松紧均匀。

2) 测量时，被测工件表面应无毛刺等缺陷。

3) 测量外径（或内径）时，两量爪跨距应稍大于（或小于）工件直径或内径，然后移动尺框游标，轻微接触工件表面，测量时轻微摆动量爪，以便找出最小（或最大）尺寸值。

4) 量爪与工件在接触的情况下，拉动或推动量爪的力要适当，以免引起量爪变形、磨损并产生测量误差。

5) 测量时，量爪不能倾斜，以免影响测量尺寸的准确性。

6) 量爪的刃口部分一般用于测量弯曲工件、槽或较小直径工件，不做大尺寸工件的测量。

7) 不许用卡尺测量还在运转的工件。

8) 不许把量爪的尖端当做划线工具。

9) 不许把卡尺放在温度较高、有振动、有磁性的场合。

10) 卡尺用完后，应擦去油污和脏物，然后上油，把它平整地放在盒内。

2. 千分尺的合理使用

1) 使用前检查测力装置微分筒的旋转是否灵活，要求在全行程内固定套筒无卡住和摩擦现象。

2) 检查“零”位线是否对齐，要求在“零”位线调整正确后才能使用千分尺。

3) 被测的工件要求表面粗糙度值不低于 $Ra\ 3.2\mu m$ 。

4) 测量时，不要用测杆的局部端面测量工件，但允许轻微移动千分尺或被测

工件，使测杆垂直于被测面。

5) 测量时，当测头的测量面与被测面接触时，即应该停止旋转微分筒，随后旋转测力装置，观察被测数值。

6) 为了消除测量误差，可在原有被测位置多测几次，取平均值。

7) 为了防止千分尺测杆弯曲变形及测量面相互撞击，不允许晃、转、戏玩、乱放千分尺。

8) 不允许千分尺测量温度较高或正在运转的工件。

9) 千分尺用完后，必须清除测头表面的脏物，并上油保护，然后平整地放入盒内。

第七节 数控车床加工辅助工艺知识

一、加工工艺过程的组成

机械加工工艺过程一般由一个或若干个工序组成，而工序又分为安装、工位、工步和进给，毛坯通过各工序变为合格的零件。

1. 工序

工序是工艺过程的基本单元，指一个（或一组）工人，在一个工作地点（如一台设备）对一个（或同时对几个）工件所连续完成的那一部分工艺过程。划分工序的主要依据是工人、工件、工作地点（设备）三不变以及该工序的工艺过程是否连续。

2. 安装

机械加工中，使工件在机床或夹具中占据某一正确位置并被夹紧的过程，称为装夹。在一道工序中，有时需要对工件进行多次装夹。工件经一次装夹后所完成的那一部分工序称为安装。

3. 工位

工件在一次安装下相对于机床或刀具每占据一个加工位置所完成的那部分工艺过程称为工位。

4. 工步

工步指加工表面、加工刀具和切削用量中切削速度和进给量不变的情况下所完成的那部分工序内容，三者有任一改变，即为另一工步。

5. 进给

在一个工步内，若被加工表面要切除的金属层很厚，需分几次切削，则每一次切削称为一次进给。如车削螺纹时，在车螺纹的工步下就需要多次进给。

以上是对机械加工工艺过程进行的分解，一个零件的加工过程由一个或若干个工序组成，每个工序则由安装、工位、工步构成，工步由进给构成。

二、工序划分的原则

工序划分可分为两种不同的原则，即工序集中与工序分散。

1) 工序集中原则就是将工件的加工集中在少数几道工序内完成，每道工序的加工内容较多。工序集中有利于采用高效的数控设备，这样可以减少机床数量、操作者人数和占地面积，一次装夹后可加工较多的工序，不仅保证了各个加工表面之间的相互位置精度，同时还减少了工序间的工件运输量和装夹工件的辅助时间。但数控设备、专用设备和工艺装备投资大，尤其是专用设备和工艺装备调整比较麻烦，不利于转产。

2) 工序分散原则就是将工件的加工分散在较多的工序内进行，每道工序的加工内容很少。工序分散使设备与工艺装备结构简单，调整和维修方便，操作简单，转产容易，有利于选择合理的切削用量，减少机动时间。但工序分散的工艺路线长，所需设备及工人多，占地面积大。

三、加工阶段的划分

1. 粗加工阶段

高效地去除各加工表面上的大部分余量，使毛坯的形状和尺寸接近成品零件。

2. 半精加工阶段

降低粗加工时产生的误差，使工件达到一定的精度，为精加工做好准备，并完成一些次要表面（如钻孔、攻螺纹、铣键槽等）的加工。

3. 精加工阶段

使各主要加工表面达到设计图样规定的精度要求。而对精度要求特别高或表面粗糙度值要求很低的表面（如公差等级高于 IT5，表面粗糙度值 $Ra < 0.2\mu\text{m}$ ），精加工是为了光整加工做好准备。

4. 光整加工

其主要任务是降低表面粗糙度值或进一步提高尺寸精度和形状精度。

一般，不同加工阶段采用不同的加工和工艺参数，以保证加工质量。但应指出，在确保质量的前提下尽量不要将加工阶段划分得太严格，例如，虽然加工质量要求高，但毛坯刚性好而精度又较高，应用加工中心加工时就可不划分加工阶段，在同一设备上完成加工。又如，对于加工质量要求不高的大型、重型工件，也往往不划分加工阶段。

四、加工顺序的安排

一个零件上往往有若干个表面需要进行加工，这些表面不仅本身有一定的精度要求，而且各个表面间还有一定的位置要求。为了达到精度要求，这些表面的加工顺序就不能随意安排，必须遵循一定的原则。这些原则包括定位基准的选择

和转换,前道工序为后续工序准备好定位基准。所以,工序的划分还应该遵循以下原则:

- 1) 先基准后其他。选作精基准的表面应安排在工艺过程的一开始进行加工。
- 2) 先粗后精。主要表面的精加工和光整加工一般放在加工的最后阶段进行,以免受到其他工序的影响,次要表面的加工可穿插在主要表面加工工序之间进行。
- 3) 先主后次。定位基准加工好以后,应先进行精度较高的各主要表面的加工,然后再进行其他表面的加工。
- 4) 先面后孔。箱体、支架类工件定位基准一般是平面,所以先加工基准平面,再以此面为基准加工别的面。

五、数控车床的加工顺序

- 1) 上道工序的加工不能影响下道工序的定位与夹紧。
- 2) 先内后外,先进行内部型腔(内孔)的加工,后进行外形的加工。
- 3) 用相同的安装方法或使用同一把刀具加工的工序最好连续进行,以减少重新定位或换刀所引起的误差。
- 4) 在同一次安装中,应先进行对工件刚性影响较小的工序。

六、金属切削率

金属切削率是指单位切削时间内去除金属材料的体积 Z_w , 其在一定程度上反映切削加工的效率。 Z_w 的计算式为

$$Z_w = 1000 A_{\text{平均}} v_{\text{平均}}$$

式中, $A_{\text{平均}}$ 为平均切削面积 (mm^2); $v_{\text{平均}}$ 为沿主切削刃的切削速度 (m/min)。

七、切削力

在切削过程中,为克服工件材料的变形抗力及刀具的前刀面、后刀面上的切削层摩擦力,刀具必然要受到一个作用力 F_R , F_R 称为切削合力。 F_R 的方向和大小都会随着切削条件的变化而变化,为了适应机床、夹具、刀具的设计使用需求,需将 F_R 分解为切削力 F_c 、进给力 F_f 和背向力 F_p , 四者的关系为

$$F_R = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_p^2}$$

切削法向力 F 为 F_f 与 F_p 的合力,当背吃刀量 a_p 远大于进给量 f ,并且刀尖圆弧半径 r_e 及刃倾角 λ_s 又不太大时,切削合力 F_R 将近似地处于刀具的工作正交平面内,则 $F_f \approx F \sin \kappa_r$, $F_p \approx F \cos \kappa_r$, 即 F_p/F_f 比值取决于主偏角 κ_r 值。

影响切削力的因素有:工件材料、切削速度、进给量和切削深度、刀具的前角、主偏角、刃倾角、刀尖圆弧半径和刀具的磨损、切削液等。其中与刀具的有关因素见表 2-3-9。

表 2-3-9 各角度与刀具有关的因素

前角 γ_0	前角越大，切削变形越小，切削力也越小，并且前角对 F_f 及 F_p 的影响要比 F_c 大，当切削速度较高时，前角对切削力的影响相对较小
主偏角 κ_r	切削塑性金属：当 κ_r 在 $60^\circ \sim 70^\circ$ 范围内时，主偏角越大，则切削力越小，但当 $\kappa_r > 70^\circ$ 后，再继续增大主偏角，则由于刀尖圆弧刃的影响，切削力将上升；切削脆性金属：当 $\kappa_r > 45^\circ$ 后，切削力基本不变，主偏角越大，则 F_f 增大， F_p 减小
刀倾角 λ_s	当 λ_s 在 $10^\circ \sim 45^\circ$ 变化时，切削力基本不变。当 λ_s 减小时， F_p 增大， F_f 减小
刀尖圆弧半径	刀尖圆弧半径对主切削力影响不大，但当刀尖圆弧半径增大时，则 F_p 增大， F_f 减小
刀具磨损	刀具磨损越严重，则切削力越大，其中 F_p 增大越显著

八、切削热与切削温度

切削热是由切削过程中所消耗的绝大部分功转化为热量而产生的，其使切削区温度上升，而且切削温度在切削区的分布是不均匀的。

影响切削温度的因素包括：工件材料，切削速度，进给量和切削深度，刀具的前角和主偏角，切削液等。其中刀具前角在一定范围内，其值增大，切削温度略有下降，但是当其增大到某一数值后，由于刀具散热条件变坏，切削温度反而上升，故前角不宜选取过大。

九、刀具磨损与刀具寿命

在切削过程中，工件—刀具—切屑的接触区发生剧烈的摩擦，刀具切削部分会产生不可避免的磨损。刀具磨损的形式有：前刀面磨损，即在切屑的作用下磨损形成的月牙状凹洼，亦称为月牙洼磨损；后刀面磨损，即刀具的后刀面与工件发生摩擦，形成一道后角为 0 的摩擦带；刀尖磨损，即刀尖圆弧下的后刀面及临近的副后刀面上的磨损，是刀具主后刀面磨损的延续；边界磨损，后刀面磨损带边界处的磨损，通常大于磨损带的平均宽度。其中前刀面月牙洼磨损和后刀面磨损带磨损是主要的磨损形式，前刀面月牙洼深度和后刀面磨损带的平均宽度是刀具磨损程度的主要衡量指标。

刀具磨损的主要原因：磨粒磨损、粘结磨损、相变磨损、氧化磨损、扩散磨损。

刀具磨损的过程与一般机械零件的磨损过程相同，分为三个阶段：初级磨损阶段，磨损较快；正常磨损阶段，磨损速度减缓并稳定一段时间；急速磨损阶段，磨损速度剧烈加快，直至刀具钝化而失去切削能力。

根据具体加工要求所规定的刀具磨损量最大允许值，称为磨损极限度。对于粗加工的刀具，应该以正常磨损阶段终点处的磨损量作为合理的磨损程度。对于

精加工刀具，应根据工件加工精度或表面粗糙度要求，确定合理的磨损程度。

刀具寿命是指刀具重新刃磨后开始使用到磨损至规定的磨损程度时的总切削时间，在一般情况下，刀具寿命主要取决于刀具材料和切削速度。

刀具寿命的高低与切削加工效率及其他加工成本有关。从提高加工效率到降低加工成本角度考虑，刀具寿命有一个合理的数值。能保证加工效率最高的刀具寿命称为最大生产率寿命；而能使加工成本最低的刀具寿命称为经济寿命，一般生产中都采用经济寿命为刀具寿命。

十、经济加工精度

经济加工精度（见表 2-3-10）包括加工尺寸经济精度和加工表面形状、位置经济精度。制订加工工艺选择加工方案和加工方法时，各种加工方法的经济加工精度是其主要依据之一。经济加工精度的含义：在正常的加工条件下（采用符合质量标准的设备、工艺装备和标准技术等级工人，不延长加工时间），该加工方法所能保证的加工精度。

表 2-3-10 外圆表面加工方案

序号	加工方案	经济公差等级	表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	适用范围
1	粗车	IT11 ~ IT12	25 ~ 100	适用淬火钢以外的各种金属
2	粗车—半精车	IT9	6.3 ~ 12.5	
3	粗车—半精车—精车	IT7 ~ IT8	1.6 ~ 3.2	
4	粗车—半精车—精车—抛光	IT7 ~ IT8	0.05 ~ 0.4	
5	粗车—半精车—精车—金刚石车	IT6 ~ IT7	0.05 ~ 0.8	主要用于要求比较高的有色金属

平面加工方案

序号	加工方案	经济公差等级	表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	适用范围
1	粗车—半精车	IT9	6.3 ~ 12.5	端面
2	粗车—半精车—精车	IT7 ~ IT8	1.6 ~ 3.2	

十一、切削要素对加工的影响

选择切削用量的目的和原则是：在保证工件加工质量和刀具寿命的前提下，使切削时间最短，劳动生产率最高，因此必须考虑其对加工（加工质量、刀具寿命和劳动生产率）的影响。

1. 对加工质量的影响

在切削速度 v_c 、背吃刀量 a_p 和进给量 f 中， a_p 加大，切削力成倍增加，引起工艺系统弹性变形大，而且可能引起振动，从而降低加工精度，增大表面粗糙度值； f 增大，切削力和表面残留面积及高度增加，使表面粗糙度值增加和精度降

低； v_c 增加，切削力有所下降，表面粗糙度值也降低，但是切削速度的增大受工艺条件和刀具材料的限制。

2. 对刀具寿命的影响

在三要素中，背吃刀量 a_p 对刀具寿命的影响最小， v_c 影响最大，从保证合理的刀具寿命出发，选择切削用量的顺序是：先选择大的背吃刀量 a_p ，再选择较大的进给量 f ，最后按照刀具寿命选择合理的切削速度 v_c 。

3. 对劳动生产率的影响

切削生产率可以用单件工序时间 T_w （切削加工时间及辅助时间之和）来衡量，也可以用材料去除率 Q 来衡量。 Q 与切削用量三要素都成正比关系，但 v_c 、 a_p 、 f 三要素对辅助时间的影响不同，对生产率的影响也不同。从切削经济性考虑，用工件工序时间 T_w 来衡量切削加工的生产率更为合理。此外，切削用量的选择还应该考虑机床的刚度、功率、断屑和振动等因素。

十二、切削三要素的选择原则

1) 首先根据工件的加工余量确定背吃刀量 a_p 。粗加工时，除留下精加工余量外，应尽可能切削全部加工余量，以使进给次数最少；当毛坯粗大，加工余量也较大时，则应该考虑工艺系统的刚度与机床的有效功率，从而选择最大背吃刀量。然后逐步减少 a_p ，以便逐步提高加工精度和表面质量，实现精加工。

2) 在 a_p 选定后， f 的选择直接决定了切削层的横截面积，从而决定了切削力的大小。粗加工时的 f 根据机床系统刚度、有效功率、转矩确定，半精加工和精加工时，一般通过查阅有关手册的切削数据决定。

3) a_p 和 f 选定后，根据合理的刀具寿命计算或查表确定 v_c 。一般原则是：粗加工时，由于 a_p 和 f 较大，所以选用较低的 v_c ；精加工时，则选用较高的切削速度 v_c ；工件材料的可加工性差时，要选用较低的 v_c ；加工灰铸铁的 v_c 比中碳钢低；加工铝和铜合金时， v_c 要比加工中碳钢高。

数控车床的编程

第一节 数控车床程序的编制

一、数控车床编程工作步骤及内容

在数控机床上加工工件时，要把加工工件的全部工艺过程、工艺参数和位移数据，以信息的形式记录在控制介质（数控计算机）上，用控制介质上的信息控制机床，实现工件的全部加工过程。这里把从工件图样到获得数控机床所需控制介质的全部过程，称为程序编制。

数控车床零件加工程序的编制一般要经过工艺的制订、数值计算、编写程序单、制备输入介质及程序校核与首件试切等步骤。数控车床零件加工程序编制的步骤如下：

1. 确定加工方案

首先分析零件图样，根据零件的材料、形状、尺寸、精度、毛坯和热处理状态等确定加工方案，并选择能够实现该方案的适当的机床、刀具、夹具和装夹方法。

2. 工艺处理

分析零件图样，考虑零件是否适合数控车床的加工，确定该数控车床所加工的工序。然后对该工序进行设计，包括零件的定位、装夹、工步的划分、进给路线的确定、刀具与切削用量的选用、工序卡等工艺文件的编写，为程序编制做好基础准备。对刀点是程序开始运行时刀具所处的位置。对刀点应选在容易定位、容易检查的位置，尽量和工件的设计基准或工艺基准重合，这样可以提高加工精度。加工路线的选择主要应该考虑：尽量缩短加工路线，减少空行程；提高生产率；应满足零件加工精度和表面粗糙度的要求；应有利于简化数值计算；减少程序段的数目和编程的工作量。切削用量可参考有关的切削加工手册并结合实际经验来确定。

3. 数值计算

主要计算刀具相对于工件运动轨迹的坐标数据。首先在零件图上建立编程坐标系作为计算坐标系的基准，然后根据零件图的几何尺寸及确定的进给路线，计算进给轨迹的坐标数据。数控编程中需要知道每个程序段的起点、终点和轮廓的线型，而零件图上给出的一般是零件的几何特征尺寸，如长、宽、高、直径等，数学处理的主要任务就是根据图样数据求出编程所需的数据。另外，一般数控系统只能加工直线和圆弧，当工件表面是由其他复杂曲线或曲面构成时，首先要用直线和圆弧去拟合工件的轮廓，这也是数学处理的任务之一。对于复杂的轮廓或曲面，这个过程很复杂，一般需要计算机辅助计算。对于那些没有刀具补偿功能的数控系统，数学处理还应该包括刀具中心轨迹的计算。

4. 编写加工程序单

根据工艺卡已经确定的工步与进给顺序、刀号、切削参数、辅助操作以及上述计算刀具运动轨迹的坐标值，编程人员要根据所选用的数控机床的指令、程序段格式，逐段编写零件的加工程序。编程人员只有了解数控机床的性能、程序指令及数控机床加工零件的过程，才能编写出正确的加工程序。

5. 程序输入

通常采用手动输入或者使用移动存储器将程序输入到数控车床的数控系统中。

6. 程序的校核与零件的试切

编写好的加工程序在正式加工前，一定要经过检验。检验的方法可以用空走刀的方法，在显示器上模拟加工过程的轨迹，也可以用石蜡、塑料等易切材料试切的方法。经过检验，特别是试切，不仅可以确认加工程序的正确与否，还可以知道加工精度是否符合要求。当发现不符合要求时，应该返回到适当的环节，修改程序或采取补偿措施。

至此一个数控车床的零件加工程序完成编写，可以正式进行批量加工了。

二、数控车床编程的方法

常用的编程方法有手工编程、数控语言编程和图形编程三种。

1. 手工编程

人工完成程序编制的全部工作，包括用通用计算机进行数值计算，称为手工编程。对于点位加工或几何形状简单的零件，程序段不多，用手工编程比较经济。对于复杂形状的工件，特别是空间曲面零件，以及程序量很大时，使用手工编程既烦琐费时，又容易出错，常会出现编程跟不上数控加工的情况。据统计，采用手工编程方法时，编程时间和加工时间之比平均为 30:1，因此，为了减少编程时间，提高数控机床的利用率，常采用自动编程方法。

2. 数控语言编程

数控语言编程是自动编程方法之一。数控语言是编制数控加工程序专用的计

算机语言,和其他编程语言一样,它由基本符号系统和一套语法规则组成。用数控语言编程的过程:编程人员首先用数控语言编写“零件源程序”,在零件源程序中定义零件的几何元素、工艺参数和刀具的运动轨迹。零件的源程序输入计算机后,由数控语言的编译程序自动完成刀具运动的轨迹计算、加工程序编制和控制介质的制备等工作。所编的程序还可以通过屏幕进行检查,有错误时可以人工编辑修改,直至程序正确为止。由于数控语言接近自然语言,且数控语言编译系统完成了主要的数学处理工作,所以数控语言编程一般比手工编程效率高。

3. 图形编程

图形编程方法完全抛开抽象的符号语言,是一种通过人机对话,利用菜单采取图形交互的方式进行编程的自动编程方法。图形编程的特点是:图形元素的输入、加工路线的编辑和工艺参数的设定等工作完全用图形方式,以人机交互的方法进行,编程人员几乎不需记忆任何抽象的指令语言,使编程过程变得更加简单,易学易用。

第二节 数控车床坐标系

一、数控车床坐标系的规定

数控加工是基于数字的加工,刀具与工件的相对位置必须在相应坐标系下才能确定。数控机床的坐标系统包括坐标系、坐标原点和运动方向,对于数控工艺制订、编程及操作,是一个十分重要的概念。如在考虑装夹方案时,工件在普通机床或专用机床上找正或定位,目的是保证工件的定位基面(本质是设计基准)与刀具的相对位置关系,而在数控机床上找正或定位时,保证的是工件坐标系与机床坐标系的相对位置关系,即要保证工件坐标系各坐标轴与机床坐标系各对应坐标轴平行、正方向一致,工件坐标系原点位置则由对刀保证。由于工件在数控机床上一次安装往往加工许多工艺内容,工序集中,在确定工件坐标系时需考虑的因素必然很多,所以每一个数控工艺员、编程员和数控机床的操作者,都必须对数控机床的坐标系统有一个完整且正确的理解,否则,工艺制订、程序编制将发生混乱,操作时更会发生事故。为了使数控系统规范化(标准化、开放化)及简化数控编程,ISO(国际标准化组织)对数控机床规定了标准坐标系。

规定数控设备标准坐标系采用右手笛卡儿直角坐标系,基本坐标轴为 X 、 Y 、 Z ,并构成直角坐标系,相应每个坐标轴的旋转坐标分别为 A 、 B 、 C ,如图2-4-1所示。基本坐标轴 X 、 Y 、 Z 的关系及其正方向用右手直角定则判定,拇指为 X 轴,食指为 Y 轴,中指为 Z 轴,围绕 X 、 Y 、 Z 各轴的回转运动及其正方向 A 、 B 、 C 分别用右手螺旋定则判定,拇指为 X 、 Y 、 Z 的正向,四指弯曲的方向为对应的 A 、 B 、 C 的正向。

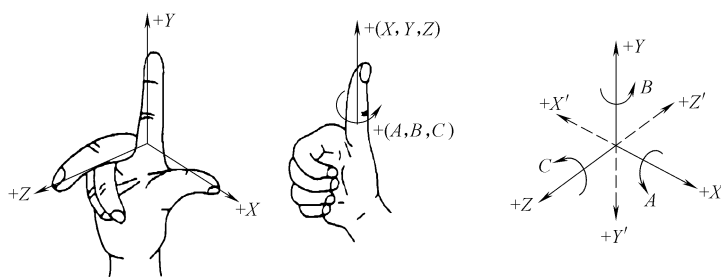


图 2-4-1 数控机床标准坐标系

(1) **Z 轴** 规定平行于机床主轴轴线的坐标轴为 **Z 轴**。对于有多个主轴或没有主轴的机床（如刨床），标准规定垂直于工件装夹面的轴为 **Z 轴**。对于能摆动的主轴，若在摆动范围内仅有一个坐标轴平行于主轴轴线，则该轴即为 **Z 轴**；若在摆动范围内有多个坐标轴平行于主轴轴线，则规定其中垂直于工件装夹面的坐标轴为 **Z 轴**，规定刀具远离工件的方向为 **Z 轴** 的正方向（**+Z**）。

(2) **X 轴** 对于工件旋转的机床，**X 轴** 的方向是在工件的径向上，且平行于横滑座，刀具离开工件旋转中心的方向为 **X 轴** 正方向；对于刀具旋转的立式机床，规定水平方向为 **X 轴** 方向，且当从刀具（主轴）向立柱看时，**X 轴** 正向在右边；对于刀具旋转的卧式机床，规定水平方向仍为 **X 轴** 方向，且从刀具（主轴）尾端向工件看时，右手所在方向为 **X 轴** 正方向。

(3) **Y 轴** **Y 轴** 垂直于 **X、Z** 坐标轴。**Y 轴** 的正方向根据 **X** 和 **Z** 坐标轴的正方向按照右手直角笛卡儿定则来判断。

(4) 旋转运动 **A、B、C** **A、B** 和 **C** 表示其轴线分别平行于 **X、Y** 和 **Z** 坐标的旋转运动。**A、B** 和 **C** 的正方向可按右手螺旋定则确定。

数控车床只有 **Z 轴、X 轴** 和回转运动 **C**，其坐标系如图 2-4-2 所示。

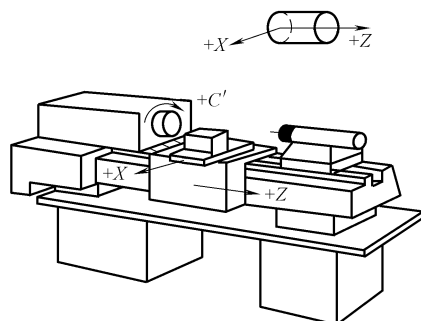


图 2-4-2 数控车床的坐标系

二、数控车床坐标系与工件坐标系的关系

1. 数控车床坐标系

数控车床坐标系是数控车床上固有的坐标系，是用来确定工件坐标系的基本坐标系，是确定刀具（刀架）位置的参考系，其建立在数控车床原点上。数控车床坐标系各坐标和运动正方向按前述标准坐标系规定设定。

2. 数控车床原点

数控车床都有一个基准位置，称为机床原点，是数控车床制造商设置在数控

车床上的一个物理位置，其作用是使数控车床与控制系统同步，建立测量数控车床运动坐标的起始点。数控车床上有一些固定的基准线，如主轴中心线；还有固定的基准面。数控车床原点一般设在主轴位于正极限位置时的基准点上，当数控车床的坐标轴手动返回各自的零点以后，用各坐标轴部件上基准线和基准面之间的给定距离来决定数控车床原点的位置。

3. 数控车床参考点

与数控车床原点相对应的还有一个机床参考点，它也是数控车床上一个固定点，通常不同于数控车床原点。为了在数控车床工作时建立机床坐标系，要通过参数来指定参考点到机床原点的距离，此参数通过精确测量来确定。一般，数控车床工作前，必须先进行回参考点动作，各坐标轴回零，才可建立数控车床坐标系。参考点的位置可以通过调整机械挡块的位置来改变，改变后必须重新精确测量并修改机床参数。

4. 工件坐标系

编程人员在编程时设定的坐标系，也称为编程坐标系。在进行数控编程时，首先要根据被加工零件的形状特点和尺寸，在零件图样上建立工件坐标系，使零件上的所有几何元素都有确定的位置，同时也决定了在数控加工时，零件在数控车床上的安放方向。工件坐标系的建立，包括坐标原点的选择和坐标轴的确定。

5. 工件坐标系原点

工件坐标系原点也称为工件原点或编程原点，一般用 G92 或 G54 ~ G59 指令指定。编程原点是由编程人员根据编程计算方便性、数控车床调整方便性、对刀方便性、在毛坯上位置确定的方便性等具体情况定义在工件上的几何基准点，一般为零件图上最重要的设计基准点。编程人员以零件图上的某一固定点为原点建立工件坐标系，编程尺寸均按工件坐标系中的尺寸给定，编程按工件坐标系进行。加工时，首先测量编程原点与机床原点之间的距离，即工件原点偏置值。该偏置值可预存到数控系统中，在加工时工件原点偏置值便自动加到工件坐标系上，使数控系统可按数控车床坐标系确定加工时的坐标值，这样使用起来非常方便。

6. 工件坐标系参考点

坐标原点选定后，接着就是坐标轴的确定。工件坐标系坐标轴确定的原则为：根据工件在数控车床上的安放方向与位置决定 Z 轴方向，即工件安放在数控车床上时，工件坐标系的 Z 轴与数控车床坐标系 Z 轴平行，正方向一致，在工件上通常与工件主要定位支撑面垂直；然后，选择零件尺寸较长方向或切削时的主要进给方向为 X 轴方向，在机床上安放后，其方位与数控车床坐标系 X 轴方位平行，正向一致。

7. 装夹原点

数控车床还有一个重要的原点，即装夹原点，是工件在数控车床上安放时的一个重要参考点。装夹原点常见于带回转数控车床，一般是数控车床自定心卡盘上的一个固定点，比如回转主轴的回转中心，在零位时其与数控车床原点的偏移

量为定值，并可通过精确测量存入 CNC 系统的原点偏置寄存器中，供 CNC 系统原点偏移计算用。

三、数控车床的绝对坐标系与相对坐标系

1. 绝对坐标系

在坐标系中，所有点的坐标值均以数控车床的原点为基准计量的坐标系称为绝对坐标系。在绝对坐标系中，点的坐标用 X、Y、Z 表示。

2. 相对坐标系

运动轨迹终点坐标以起点为基准计量的坐标系称为相对坐标系，相对坐标系也称为增量坐标系，在相对坐标系中，点的坐标用 U、V、W 表示。

四、数控车床编程原点选择的注意事项

- 1) 编程原点应选在零件图的尺寸基准上，这样便于各坐标值的计算。
- 2) 编程原点尽量选在精度较高的加工表面，以提高被加工零件的加工精度。
- 3) 对于对称的零件，工件的编程原点应设在对称中心上。
- 4) 对于一般编程原点，通常设在工件外轮廓的某一角上。
- 5) Z 轴方向上的编程原点，一般设在工件表面。
- 6) 编程原点要选在便于测量或对刀的基准位置上，同时要便于编程计算。

第三节 数控车床的程序结构与程序段格式

一、加工程序的结构

一个完整的加工程序结构由程序号、程序内容和程序结束三部分组成。

1. 程序号

程序号是给零件加工程序的一个编号，置于程序的开头，是一个具体加工程序存储调用的标记，也称为程序名。程序号一般由字母 O、P 或符号“%”加 2 ~ 4 位数组成，即程序号由地址码和四位编号数字组成（见表 2-4-1）。例如：O0600；其中，O 为程序号地址码，0600 为程序的编号。

2. 程序内容

程序内容是加工程序的主要构成部分，它由多个程序段组成。每段程序段由若干个字组成，每个字又由地址码和若干个数字组成。指令字代表某一信息单元，它代表数控系统所识别的一个控制命令或一个坐标位置。

3. 程序结束

程序结束一般使用辅助功能代码 M02（程序结束）和 M30（程序结束，返回起点）来表示。例如：N30 M02。

表 2-4-1 地址码字符的意义

地 址 码	意 义	地 址 码	意 义
A	绕 X 轴旋转的角度尺寸	N	程序段号
B	绕 Y 轴旋转的角度尺寸	O	程序编号
C	绕 Z 轴旋转的角度尺寸	P	平行于 X 轴的第三坐标
D	刀具半径补偿的位置号	Q	平行于 Y 轴的第三坐标
E	第二进给功能	R	平行于 Z 轴的第三坐标
F	第一进给功能	S	主轴转速功能
G	准备功能	T	刀具功能
H	刀具长度补偿的偏置号	U	平行于 X 轴的第二坐标
I	平行于 X 轴的圆弧插补参数	V	平行于 Y 轴的第二坐标
J	平行于 Y 轴的圆弧插补参数	W	平行于 Z 轴的第二坐标
K	平行于 Z 轴的圆弧插补参数	X	X 轴方向的主运动坐标
L	固定循环的循环次数	Y	Y 轴方向的主运动坐标
	子程序的调用次数	Z	Z 轴方向的主运动坐标
M	辅助功能		

二、程序段的格式

程序段的格式是在编程时，一个程序段中的字、字符和数据的编写规则。目前常用的是字地址可变程序段格式。它由程序段号、数据字和程序段结束符组成。每个字的字首是一个英文字母，称为地址码。

字地址程序格式的特点是：由于字首为地址，可以区分字的功能类型与储存单元，从而一个程序段中字的数目与字的位数（字长）可按需给定，与上一个程序段相同的模态字可以省略，使程序简化、缩短。由于字首为地址，一个程序段除程序段号与程序段结束字符外，其余各字的顺序并不严格，可先可后，但是为了编写、检查程序的方便，习惯上可按 N、G、X、Y、Z、…、F、S、T、M 的顺序编程，见表 2-4-2。需要注意的是，一个程序段的字符总数不得超过数控系统规定的程序段长度。

表 2-4-2 字地址码可变程序段格式

程序 段号	准备 功能	坐标尺寸或规格字			进给 功能	主轴 速度	刀具 功能	辅助 功能	程序段 结束符
N_	G × ×	X_ Y_ Z_ U_ V_ W_ P_ Q_ R_ A_ B_ C_ D_ E_	I_ J_ K_ R_	K_ L_ P_ H_ F_	F_	S_	T_	M × ×	LF

1. 程序段号

程序段号通常由标识符号 N 与数字来表示，例如：N5、N0001。现代数控系统中很多都不要求程序段号，即程序段号可有可无，但是，如果程序中有宏程序语句，就应该加上程序段号。

2. 准备功能

准备功能由准备功能地址符 G 和数字所组成，例如 G02 表示顺时针圆弧插补。G 功能的代号已经标准化。

3. 坐标尺寸或规格字

坐标尺寸或规格字由坐标地址符与数字所组成，而且要遵循一定的排列顺序。各坐标轴的地址符按照下列顺序排列：X、Y、Z、U、V、W、P、Q、R、A、B、C。X、Y、Z 为刀具运动的终点坐标值，不同的数控系统对坐标值的表示方法有不同规定，例如 18 应写为 18.，否则有的数控系统会将 18 看做 18 μm ，但是写成 18.，则普遍认为是 18mm。

4. 进给功能

进给功能由进给地址符 F 及数字组成，数字表示所选定的进给速度，单位为 mm/min。

5. 主轴速度功能

主轴速度功能由主轴转速地址符 S 及数字所组成，数字表示主轴每分钟转数，单位为 r/min。

6. 刀具功能

刀具功能由地址符 T 和数字组成，数字表示选定刀具的号码。

7. 辅助功能

辅助功能由辅助操作地址符 M 和两位数字组成。

8. 程序段结束符

程序段结束符在段落的最后一个有用的字符之后，表示该段程序的结束（不同数控系统其程序段结束符是不同的）。

第四节 数控车床编程的子程序与宏程序

一、子程序

1. 子程序的概念

假如一组程序段在一个程序中多次出现，或者在几个程序段中都要使用它，为了缩短程序，可以把这个程序段抽出来，按照数控系统所规定的格式写成一个新的程序单独储存，以供另外的程序调用，这个程序就称为子程序。一个子程序在执行时还可以调用另外的子程序，这就是子程序的嵌套。子程序的嵌套次数由

具体的数控系统所规定。调用第一层子程序的指令所在的程序为主程序。

2. 子程序的执行过程

子程序的调用使用 M98 指令，格式为 M98 P_ H_ L_，执行时，则执行在子程序调用指令中由 P 后的数字所指定的子程序，执行完子程序后，遇到 M99 指令返回指定的主程序。

二、宏程序

系统的每个代码功能是固定的，由系统生产厂家开发，使用者只需要按照规定编程即可。但有时候，这些指令满足不了用户的需要，系统提供了用户宏程序功能，用户可以自己扩展数控系统的功能。这实际上是系统对用户的开放，即可由用户自行开发固定循环的加工程序。用户把实现某种功能的一组指令像子程序一样预先存入存储器中，用一个指令代表这个存储器的功能，在程序中只要指定该指令就能实现该功能，把这一组指令称为用户宏程序本体，简称宏程序。用户宏程序与普通程序的区别：在用户宏程序的本体中，能使用变量，可以给变量赋值，变量间可以运算，程序运行可以跳转。而在普通程序中，只能指定常量，常量之间不能运算，程序只能顺序执行，不能跳转。

第五节 数控车床加工程序的指令代码

零件加工程序所使用的指令代码，主要有准备功能 G 指令、进给功能 F 指令、主轴速度 S 指令、刀具功能 T 指令、辅助功能 M 指令。大多数数控系统中的常用 G 功能都能够与 ISO 标准中所规定的相一致。对于某些特殊功能或者是 ISO 标准中没有指定的功能，根据实际数控机床的控制要求，数控系统生产厂家可以按照需要自行定义，并且应该在数控编程手册上给出具体的说明和使用方法。

一、准备功能 G 指令

准备功能 G 指令（见表 2-4-3）是用来控制刀具的运动轨迹（即插补指令）、选择插补坐标平面、设置工件坐标偏置、设置刀具长度与半径补偿等有关机床加工操作的指令。JB/T3208-1999 标准（已作废）^①中规定：G 指令由字母 G 及其后面的两位数字组成，从 G00 ~ G99 共 100 种代码（现代的先进数控技术发展很快，该数控系统的准备功能已经扩大到 G150）。G 指令代码有两种：非模态 G 代码，这种代码只能在被指定的程序段才有效；模态 G 代码，在同组的其他 G 代码出现前一直有效。

^① 本标准虽已作废，但目前生产企业还在沿用，故此保留。

表 2-4-3 准备功能 G 指令

代 码	功能保持到被取消或被同样字母表示的程序指令所代替	功能仅在所出现的程序段内有作用	功 能
1	2	3	4
G00	a		定位点
G01	a		直线插补
G02	a		顺时针方向圆弧插补
G03	a		逆时针方向圆弧插补
G04		*	暂停
G05	#	#	不指定
G06	a		抛物线插补
G07	#	#	不指定
G08		*	加速
G09		*	减速
G10 ~ G16	#	#	不指定
G17	c		XY 平面选择
G18	c		XZ 平面选择
G19	c		YZ 平面选择
G20 ~ G32	#	#	不指定
G33	a		螺纹切削，等螺距
G34	a		螺纹切削，等螺距
G35	a		螺纹切削，等螺距
G36 ~ G39	#	#	不指定
G40	d		刀具补偿/刀具偏置注销
G41	d		刀具补偿—左
G42	d		刀具补偿—右
G43	# (d)	#	刀具补偿—正
G44	# (d)	#	刀具补偿—负
G45	# (d)	#	刀具偏置 + / +
G46	# (d)	#	刀具偏置 + / -
G47	# (d)	#	刀具偏置 - / -
G48	# (d)	#	刀具偏置 - / +
G49	# (d)	#	刀具偏置 0 / +
G50	# (d)	#	刀具偏置 0 / -
G51	# (d)	#	刀具偏置 + / 0

(续)

代 码	功能保持到被取消或被同样字母表示的程序指令所代替	功能仅在所出现的程序段内有作用	功 能
G52	# (d)	#	刀具偏置 - /0
G53	f		直线偏置，注销
G54	f		直线偏置 X
G55	f		直线偏置 Y
G56	f		直线偏置 Z
G57	f		直线偏置 XY
G58	f		直线偏置 XZ
G59	f		直线偏置 YZ
G60	h		精确定位 1 (精)
G61	h		精确定位 1 (中)
G62	h		精确定位 1 (粗)
G63		*	攻螺纹
G64 ~ G67	#	#	不指定
G68	# (d)	#	刀具偏置，内角
G69	# (d)	#	刀具偏置，外角
G70 ~ G79	#	#	不指定
G80	e		固定循环注销
G81 ~ G89	e		固定循环
G90	j		绝对尺寸
G91	j		增量尺寸
G92		*	预置寄存
G93	k		时间倒数进给率
G94	k		每分钟进给
G95	k		主轴每转进给
G96	i		恒线速度
G97	i		每分钟转速 (主轴)
G98 ~ G99	#	#	不指定

- 注：1. #号表示：如选作特殊用途，必须在程序格式中说明。
2. 如果在直线切削控制中没有刀具补偿，则指令 G43 ~ G52 可指定其他用途。
3. 在表中序号栏括号中的字母 (d) 表示：可以被同栏中没有括号的字母 d 所注销或代替。
4. 指令 G45 ~ G52 的功能可用于机床上任意两个预定的坐标。
5. 控制机床上没有指令 G53 ~ G59、G63 功能，可以指定作其他用途，如建立坐标系。
6. * 号表示功能仅在所出现的程序段内有效。

表 2-4-3 第 2 列中，标有字母 a、b、c、d 等是表示第 1 列中所对应的 G 指令是模态指令（又称续效指令），字母相同的为一组，同一组的任意两个代码不能同时出现在一个程序段中。所谓模态指令，是指它一旦被应用到某个程序段中（如 a 组的 G01），则在后续的其他程序段中一直持续有效，直到后续程序段中出现同一组的其他任意 G 指令（如 a 组的 G02）时才失效，并且在持续有效程序段中可以省略不写。在同一程序段中出现非模态指令，只有书写了该指令时，该指令才有效。

举例说明：

N0001 G02 G17 G41	X_ Y_
N0002	X_ Y_
N0003 G01	X_ Y_
N0004	X_ Y_
N0005 G02	X_ Y_
N0006 G00 G04	X_ Y_

在上例中，N0001 程序段中，使用了三种 G 指令，对照表 2-4-3，可以看出它们都是模态指令，但是它们不属于同一组（指令 G02 属于 a 组，指令 G17 属于 c 组，指令 G41 属于 d 组），所以可以编写在同一程序段中；N0002 与 N0001 功能相同，因为都是模态指令，故持续有效，且可以省略不写；N0003 中出现了指令 G01，同组的指令 G02 失效，但是指令 G17、G41 因不同组，继续有效；N0004 与 N0003 相同，继续有效；N0005 中需要指令 G02 必须重写；N0006 中出现同组的指令 G00，则指令 G02 失效，同时指令 G40 与 G41 也同组，所以指令 G40 的出现也使 G41 失效，但指令 G17 仍然是持续有效的。

表 2-4-3 中，若第 3 列的某行有符号，代表该行的指令为非模态指令。

表 2-4-3 中，第 4 列功能说明的代码“不指定”，将作为以后修订标准时提供新指定的功能使用。

二、辅助功能 M 指令

辅助功能 M 指令与数控系统的插补运算无关，是根据加工时操作数控机床的需要而予以规定的工艺指令。辅助功能字由字母 M 及 1~2 位数字组成，通称 M 功能，M00~M99 共 100 个（目前的数控系统也有运用到三位数的 M 功能），用来控制主轴启停、正反转、冷却泵启停、程序运行结束及软开关的通断等，见表 2-4-4。在编制程序时，必须先了解所使用数控系统的 M 功能，因为 M 指令在程序中是必不可少的。M 指令也有续效指令与非续效指令之分，即 M 功能有两种形式：非模态 M 功能代码，只有在书写了该代码的程序段中有效；模态 M 功能代码，是一组可相互注销的 M 功能，这些功能能在同一组的其他功能出现前一直有效，模态 M 功能同组中包括一个默认功能，系统上电时将被初始化为该功能。

表 2-4-4 辅助功能 M 指令

代 码	功能开始时间		功能保持到被注销或被适当程序指令代替	功能仅在所出现的程序段内有作用	功 能
	与程序段指令运动同时开始	在程序段指令运行完后开始			
1	2	3	4	5	6
M00		*		*	程序停止
M01		*		*	选择停止
M02		*		*	程序结束
M03	*		*		主轴顺时针方向
M04	*		*		主轴逆时针方向
M05		*	*		主轴停止
M06	#	#		*	换刀
M07	*		*		2 号切削液开
M08	*		*		1 号切削液开
M09		*	*		切削液关
M10	#	#	*		夹紧
M11	#	#	*		松开
M12	#	#	#	#	不指定
M13	*		*		主轴顺时针方向, 切削液开
M14	*		*		主轴逆时针方向, 切削液开
M15	*			*	正运动
M16	*			*	负运动
M17 ~ M18	#	#	#	#	不指定
M19		*	*		主轴定向停止
M20 ~ M29	#	#	#	#	不指定
M30		*		*	程序结束返回起点
M31	#	#		*	互锁旁路
M32 ~ M35	#	#	#	#	不指定
M36	*		*		进给范围 1
M37	*		*		进给范围 2
M38	*		*		主轴速度范围 1
M39	*		*		主轴速度范围 2
M40 ~ M45	#	#	#	#	如有需要作为齿轮换挡, 此外不指定

(续)

代 码	功能开始时间		功能保持到被注销或被适当程序指令代替	功能仅在所出现的程序段内有作用	功 能
	与程序段指令运动同时开始	在程序段指令运行完后开始			
M46 ~ M47	#	#	#	#	不指定
M48		*	*		注销 M99
M49	*		*		进给率修正旁路
M50	*		*		3 号切削液开
M51	*		*		4 号切削液开
M52 ~ M54	#	#	#	#	不指定
M55	*		*		刀具直线位移位置 1
M56	*		*		刀具直线位移位置 2
M57 ~ M59	#	#	#	#	不指定
M60		*		*	更换工件
M61	*		*		工件直线位移位置 1
M62	*		*		工件直线位移位置 2
M63 ~ M70	#	#	#	#	不指定
M71	*		*		工件角度位移位置 1
M72	*		*		工件角度位移位置 2
M73 ~ M89	#	#	#	#	不指定
M90 ~ M99	#	#	#	#	不指定

注：1. #号表示：如选作特殊用途，必须在程序说明中说明。

2. M90 ~ M99 可指定为特殊用途。

3. 对不指定功能的代码可根据不同数控系统自行设定。

表 2-4-4 中第 2 列表示该功能在程序段中与运动指令开始时同步执行，第 3 列表示该功能在程序段中运动指令完成后执行，第 4、5 列分别为模态指令与非模态指令，其含义与 G 指令相同。

举例说明：

N002 G01 X30 Z50 S800…M03

.
. .
. .

N015 G00 X200 Z400…M05

N002 程序段中 M03 是指在直线插补（G01）进给运动一开始，就命令主轴按

顺时针方向启动至每分钟 800 转 (S800); N015 程序段则表示在快速点定位 (G00) 运动至 (X200, Z400) 处后, M05 才命令主轴停转, M03 ~ M05 为模式代码。

三、进给功能 F 指令

进给功能 F 指令用来指定刀具相对于工件的进给速度, 属于模态代码, 在 G01、G02、G03 和循环指令程序段中, 必须有 F 指令, 或者这些程序段之前已经有 F 指令。根据数控系统不同, F 功能的表示方法也不一定相同, 进给功能用地址符 F 和其后 1~5 位的数字表示, 通常 F 后跟三位数字。

如果是单轴运动, 则 F 所指定的速度就是单轴运动速度, 如果是多轴的复合运动, 则 F 所指定的速度就是多轴的复合矢量速度, 单位为 mm/min。在螺纹切削中, 实际进给速度要受到所加工螺纹导程的约束, 即进给速度与主轴转速由固定的关系所约束, F 用来指定螺纹导程, 单位为 mm/r。需要注意以下事项:

1) 切向进给速度的恒定控制。F 指令设定的是各轴进给速度的合成速度, 目的在于使切削过程的切向进给速度始终与指令速度一样, 系统自动根据 F 指令的切向进给速度控制各轴的进给速度。

2) 进给量设定。一般用 G94 表示进给速度, 单位是 mm/min; 用 G95 表示进给量, 单位是 mm/r。G94、G95 都是模态代码, G94 为默认值。

3) 进给速度的调整。F 指令给定的进给速度, 可通过“进给修调”旋钮调整。注意: “进给修调”在螺纹加工时无效, 进给倍率固定在 100%。

4) 快速移动速度。各轴快速移动的速度是在轴参数中设定的“最高允许速度”, 可用“进给修调”旋钮调整, 与 F 指令进给速度无关。

四、主轴转速功能 S 指令

主轴转速功能 S 指令用来指定主轴的旋转速度, 主要表示主轴的转速或速度, 属于模态代码, S 功能只有在主轴速度可调节时有效, 用字母 S 和它后面的 2~4 位数字来表示。S 功能指令数字一般采用直接指定法, 也可以采用二位代码法。主轴转速指令属于续效指令。另外, 主轴的转向要用辅助指令 M03 (正向)、M04 (反向) 指定, 停止指令 M05。主轴转速指令有恒转速 (r/min) 和表面恒线速度 (m/min) 两种运转方式。

五、刀具功能 T 指令

在具有自动换刀功能的数控车床上, 刀具功能 T 指令用来选择所需的工具, 和自动换刀指令 M06 配合使用, 为自动换刀做好选刀的准备。T 指令为非模态指令, 被调用的刀补值一直有效, 直到再次换刀调入新的刀补值。同时该指令还可以用来表示选择刀具偏置和补偿。T 功能字由地址字符 T 和后面的 2~4 位数

字组成，如 T20 表示换刀时选择 20 号刀具。假如作刀具补偿时，T20 是指按照 20 号刀具事先所设定的数据进行补偿。倘若用 4 位数字指令，如 T0103，则前面两位数字表示刀号，后面两位数字表示刀补号。由于不同的数控系统有不同的指令方法和含义，所以具体应用时，要参照所使用的数控机床手册中的有关规定。

第六节 数控车床常用指令举例

一、G50 指令

1. 工件坐标系设定

格式：G50 X_ Z_;

G50 指令是规定刀具起刀点距离编程原点的距离，坐标值 X 、 Z 为刀位点在工件坐标系中的起始点（即起刀点）位置。当刀具的起刀点空间位置一定时，编程原点选择不同，刀具在工件坐标系中的坐标 X 、 Z 也不同。假设刀尖的起始点距工件原点的 Z 向尺寸和 X 向尺寸分别为 a 和 b （直径值），则执行程序段 G50 后，系统内部即对 a 和 b 进行记忆，并显示在面板显示器上，就相当于系统内部建立了一个以编程原点为坐标原点的工件坐标系。

2. 坐标系平移

格式：G50 U_ W_;

G50 指令能把已建立起来的某个坐标系进行平移，其中 U 和 W 分别代表坐标系原点在 X 轴和 Z 轴上的位移量。

二、刀具的直线插补（G00、G01）

1. 快速点定位指令（G00）

格式：G00 X(U)_ Z(W)_;

G00 指令是模态代码，它命令刀具以点定位控制方式从刀具所在的点快速运动到下一个目标位置。它只是快速定位，而无运动轨迹要求，也无切削加工过程。当采用绝对值编程时，刀具分别以各轴的快速进给速度运动到工件坐标系 X 、 Z 点；当采用增量值编程时，刀具以各轴的快速进给速度运动到距离现有位置为 U 、 W 的点。G00 的执行过程为刀具由程序起始点加速到最大速度，然后快速移动，最后减速到终点，实现快速点定位，刀具的实际运动路线不是直线，而是折线，使用时注意刀具是否和工件发生干涉。

2. 直线插补指令（G01）

格式：G01 X(U)_ Z(W)_ F_;

G01 指令是模态代码，它是直线运动的命令，规定刀具在两坐标或三坐标间以插补联动方式按指定的 F 进给速度作任意斜率的直线运动。当采用绝对值编程时，

刀具以 F 指令的进给速度进行直线插补，一直运动到工件坐标系 (X , Y) 点。当采用增量编程时，刀具以 F 进给速度运动到距离现有位置为 U 、 W 的点上。其中 F 进给速度在没有新的 F 指令以前一直有效，不必在每个程序段中都写入 F 指令。G01 指令后的坐标值取绝对坐标编程还是增量坐标编程，由尺寸字定。进给速度由 F 指令决定，F 指令也是模态指令，可由 G00 指令取消。如果在 G01 程序之前的程序段没有 F 指令，而现在的 G01 程序段中也没有 F 指令，则机床不运动，即 G01 程序中必须有 F 指令，如图 2-4-3 所示。

三、刀具的圆弧插补 (G02、G03)

1. 圆弧顺逆的判断

圆弧插补指令分为顺时针圆弧插补指令 G02 和逆时针圆弧插补指令 G03。数控机床是两个坐标的机床，只有 X 轴和 Z 轴。按右手螺旋定则的方法考虑 Y 轴进出方向，然后观察者从 Y 轴的正方向向 Y 轴的负方向看，即可正确判断出圆弧的顺逆时针，如图 2-4-4 所示。

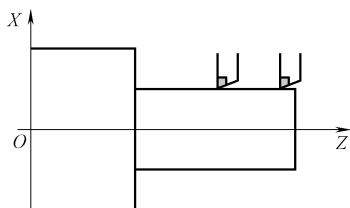


图 2-4-3 直线插补指令

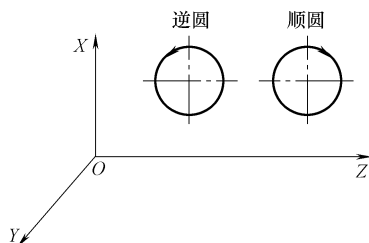


图 2-4-4 顺逆时针方向

2. 圆弧顺时针插补与逆时针插补 (见图 2-4-5)

用 I 、 K 指定圆心位置：

格式：G02/G03 $X(U)$ $Z(W)$ I K F ；

用圆弧半径 R 指定圆心位置：

格式：G02/G03 $X(U)$ $Z(W)$ R F ；

在车床上加工圆弧，不仅需要 G02 或 G03 指出圆弧的顺逆方向，用 $X(U)$ 、 $Z(W)$ 指定圆弧的终点坐标，而且还要指定圆弧的中心位置。G02 为顺时针圆弧插补，G03 为逆时针圆弧插补。采用绝对值编程时，用 X 、 Z 表示圆弧终点在工件坐标系中的坐标值；采用增量值编程时，用 U 、 W 表示圆弧终点相对于圆弧起点的增量值。圆心坐标 I 、 K 为圆弧起点到圆弧中心所作矢量分别在 X 、 Z 轴方向上的分矢量（矢量方向指向圆心）。本系统的 I 、 K 为增量坐标，当分矢量方向与坐标轴的方向一致时为“+”，反之为“-”。用半径 R 指定圆心位置时，由于在同一半径 R 的情况下，从圆弧的起点到终点有两个圆弧的可能，因此在编程时规定

圆心角小于或等于 180° 的圆弧 R 为正值，圆心角大于 180° 的圆弧 R 为负值。程序段中同时给出 I 、 K 和 R 值，以 R 值优先， I 、 K 无效。G02、G03 用半径指定圆心位置时，不能描述整圆，只能使用分矢量编程。

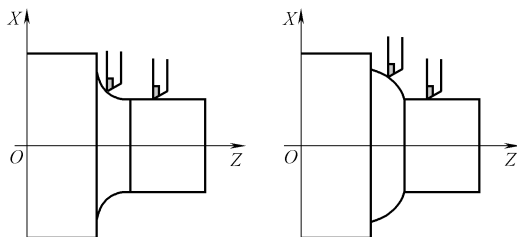


图 2-4-5 圆弧顺时针插补与逆时针插补

四、暂停（延时）指令（G04）

格式：G04 P_ (ms)；

G04 X(U)_ (s)；

暂停指令为非模态指令，常在进行镗孔、车槽、车台阶轴等加工时，要求刀具在很短时间内实现无进给光整加工，此时可以用 G04 指令实现暂停，暂停结束后，继续执行下一段程序。其中 X、U、P 为暂停时间；P 后面的数值为整数，单位为 ms；X(U) 后面为带小数点的数，单位为 s。例如，欲停留 1.5s 的时间，则程序段为：G04 X1.5 或 G04 P1500。

五、米制输入与英制输入（G21、G20）

格式：G20；

G21；

如果一个程序段开始使用 G20 指令，则表示程序中相关的一些数据为英制 (in)；如果一个程序段开始使用 G21 指令，则表示程序中相关的一些数据为米制 (mm)。机床厂出厂时一般设为 G21 状态，机床刀具各参数以米制单位设定。两者不能同时使用，停机断电后 G20、G21 仍起作用，除非再重新设定。

六、回参考点检验（G27）、自动返回参考点（G28）、从参考点返回（G29）

1. 回参考点检验（G27）

格式：G27 X(U)_ Z(W)_T0000；

G27 指令用于检查 X 轴与 Z 轴是否正确返回参考点。但执行 G27 指令的前提

是机床在通电后必须返回过一次参考点。如果定位结束后检测到开关信号发令正确，参考点的指示灯亮，说明滑板正确回到了参考点的位置；如果检到的信号不正确，系统报警。执行该指令之后，如果欲使机床停止，必须加入 M00 指令，否则，机床将继续执行下一个程序。

2. 自动返回参考点 (G28)

格式：G28 X(U)_ Z(W)_ T0000；

执行 G28 指令时，刀具先快速移动到指令中 X(U)、Z(W) 所指的中间点坐标位置，然后自动回参考点。到达参考点后，相应的坐标指示灯亮。注意使用 G27、G28 指令时，必须预先取消补偿量值 (T0000)，否则会发生不正确的动作，如图 2-4-6 所示。

3. 从参考点返回 (G29)

格式：G29 X(U)_ Z(W)；

执行 G29 指令后，各轴由中间点移动到指令中所指的位置处定位。其中 X(U)、Z(W) 为返回目标点的绝对坐标或相对 G28 中间点的增量坐标值，如图 2-4-7 所示。

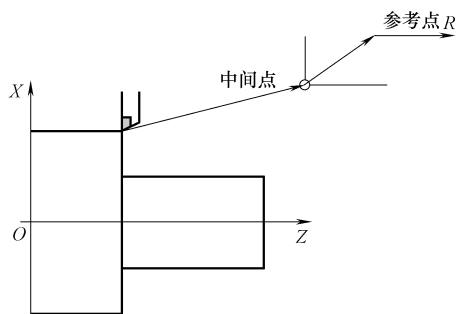


图 2-4-6 自动返回参考点

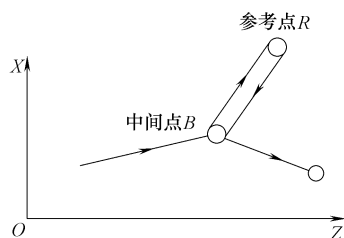


图 2-4-7 从参考点返回

七、单一形状固定循环 (G90、G94)

数控车床上被加工工件的毛坯常用棒料或铸、锻件，因此加工余量大，一般需要多次重复循环加工，才能去除全部余量。为了简化编程，数控系统提供不同形式的固定循环功能，以缩短程序段的长度，减少程序所占内存。一般在固定循环切削过程中，M、S、T 等功能都不改变。如果需要改变时，必须在 G00 或 G01 的指令下变更，然后再指令固定循环。以下是单一形式固定循环。

1. 外圆切削循环 (G90)

外圆切削循环是一种单一形状固定循环，刀具从循环起点开始按照矩形循环，最后又回到循环起点，如图 2-4-8 所示。

格式：G90 X(U)_ Z(W)_ F_；

其中，X、Z 为圆柱面切削终点坐标值，U、W 为圆柱面切削终点相对循环起点的增量值。

2. 锥面切削循环（G90）

格式：G90 X(U)_ Z(W)_ I_ F_；

锥面切削循环是一种单一形状固定循环，I 为锥体大小端的半径差。编程时，应注意 I 的符号，锥面起点坐标大于终点坐标时为正，反之为负，如图 2-4-9 所示。

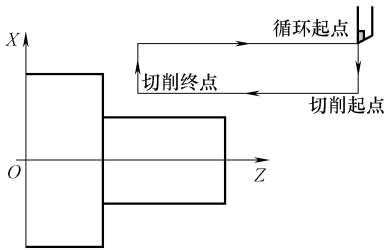


图 2-4-8 外圆切削循环

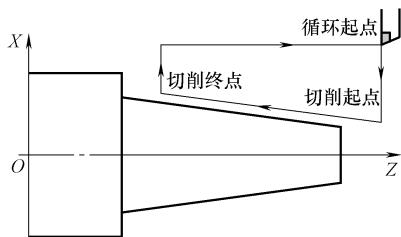


图 2-4-9 锥面切削循环

3. 端面切削循环（G94）

格式：G94 X(U)_ Z(W)_ F_；

端面切削循环是一种单一形状固定循环，X、Z 为端平面切削终点的坐标值，U、W 为端面切削终点相对循环起点的坐标分量，如图 2-4-10 所示。

4. 带锥度的端面切削循环（G94）

格式：G94 X(U)_ Z(W)_ K_ F_；

带锥度的端面切削循环是一种单一形状固定循环，K 为端面切削始点到终点位移在 Z 轴方向的坐标增量值，如图 2-4-11 所示。

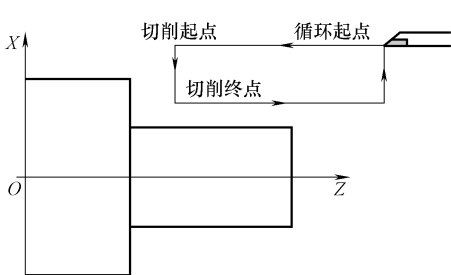


图 2-4-10 端面切削循环

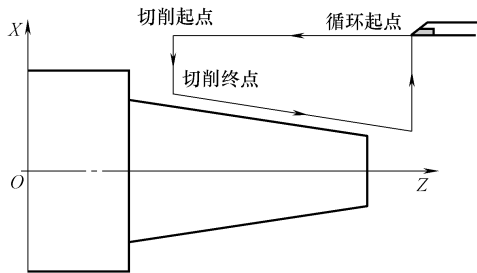


图 2-4-11 带锥度的端面切削循环

八、内外圆复合形状多重固定循环 (G71、G72、G73、G70)

G70 ~ G73 指令应用于非一次进给才能完成加工的情况, 要在粗车和多次进给切螺纹的情况下使用。利用复合固定循环功能, 只要编写出最终进给路线, 给出每次切削余量或循环次数, 数控车床就可以自动完成重复切削直到加工完成。

1. 外圆粗车循环 (G71)

格式: G71 U (Δd) R(e);

格式: G71 P(ns) Q(nf) U (Δu) W (Δw) F_ S_ T_;

外圆粗车循环 G71 适用于切除棒料毛坯的大部分加工余量。其中, Δd 为每次切削深度 (半径值给定), 不带符号, 是模态值; e 为退刀量, 是模态值; ns 为循环中的第一个程序段号; nf 为循环中的最后一个程序段号; Δu 为径向 (X) 的精车余量; Δw 为轴向 (Z) 的精车余量; F 为粗加工循环中的进给速度; S 为粗加工循环中的主轴速度; T 为刀具功能。指令中的 F 值和 S 值是指在粗加工中的 F 值和 S 值, 该值一确定, 则在程序段号 “ns” 和 “nf” 之间所有的 F 值和 S 值均无效。另外, 该值也可以不加指定, 而沿用前面程序段中的 F 值, 并可沿用至粗、精加工结束后的程序中去, 而 ns 和 nf 程序段中指定的 F、S、T 是对精车循环有效。当该指令要应用到工件内轮廓时, G71 就自动成为内径粗车循环, 此时径向精车余量 Δu 应该指定为负值, 如图 2-4-12 所示。

2. 端面粗车循环 (G72)

格式: G72 W (Δd) R(e);

格式: G72 P(ns) Q(nf) U (Δu) W (Δw) F_ S_ T_;

G72 程序段中的地址含义与 G71 相同, 但它只完成端面方向粗车。一般是从外径方向往轴心方向车削端面循环, 如图 2-4-13 所示。

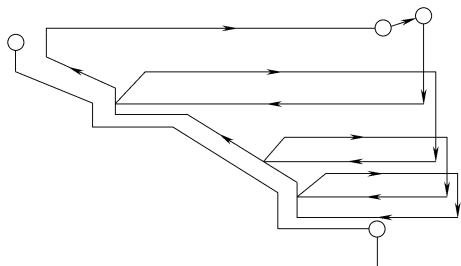


图 2-4-12 外圆粗车循环

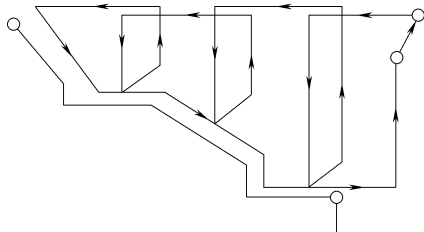


图 2-4-13 端面粗车循环

3. 固定形状粗车循环 (G73)

格式: G73 U (Δi) W (Δk) R(d);

格式: G73 P(ns) Q(nf) U (Δu) W (Δw) F_ S_ T_;

固定形状粗车循环适用于毛坯轮廓形状与零件轮廓形状基本接近的铸、锻毛

坯件。其中, Δi 为 X 轴方向退刀量的距离和方向 (半径值指定), 该值是模态值; Δk 为 Z 方向退刀量的距离和方向, 该值是模态值; d 为分层次数, 此值与粗切重复次数相同, 该值是模态值; ns 为循环中的第一个程序段号; nf 为循环中的最后一个程序段号; Δu 为径向 (X) 的精车余量; Δw 为轴向 (Z) 的精车余量; F 为粗加工循环中的进给速度; S 为粗加工循环中的主轴速度; T 为刀具功能。执行 G73 功能时, 每一刀切削路线的轨迹形状是相同的, 只是位置不同。每走完一刀, 切削轨迹就向工件移动一个位置, 这样就可以将锻件待加工表面分布较均匀的切削余量分层切去。G73 循环主要用于车削固定轨迹的轮廓。这种复合循环, 可以高效地切削铸造成形、锻造成形或已粗车成形的工件。对不具备类似成形条件的工件, 如果采用 G73 进行编程与加工, 反而会增加刀具在切削过程中的空行程, 而且也不便计算粗车余量。G73 程序段中, “ ns ” 所指程序段可以向 X 轴或 Z 轴的任意方向进刀, 因此 G73 循环加工的轮廓形状, 没有单调递增或单调递减形式的限制, 如图 2-4-14 所示。

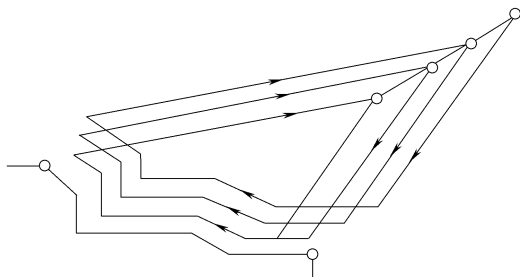


图 2-4-14 固定形状粗车循环

4. 精车循环 (G70)

格式: G70 P(ns) Q(nf);

当用 G71、G72、G73 粗车工件后, 用 G70 来指定精车循环, 切除粗加工的余量。其中, ns 为精车循环中的第一个程序段号; nf 为精车循环中的最后一个程序段号。在精车循环 G70 状态下, $ns \sim nf$ 程序中指定的 F 、 S 、 T 有效; 如果 $ns \sim nf$ 程序中不指定 F 、 S 、 T , 粗车循环中指定的 F 、 S 、 T 有效。在使用 G70 精车循环时, 要特别注意快速退刀路线, 防止刀具与工件发生干涉。

5. 使用内、外圆复合固定循环 (G71 ~ G73、G70) 时的注意事项

1) G71 固定循环主要用于对径向尺寸要求比较高、轴向切削尺寸大于径向切削尺寸这类毛坯工件进行粗车循环。

2) G72 固定循环主要用于对端面精度要求比较高、径向切削尺寸大于轴向切削尺寸这类毛坯工件进行粗车循环。

3) G73 固定循环主要用于已成形工件的粗车循环。

4) 使用内、外圆复合固定循环进行编程时, 在其 $ns \sim nf$ 之间的程序段中, 不能含有以下指令: 除 G04 (暂停) 以外的 00 组的非模态 G 代码 (如参考点返回指令 G29 和固定循环指令 G71 ~ G76 等); 除 G00、G01、G02 和 G03 外的所有 01 组 G 代码 (如 G90、G92、G94 等切削指令); 06 组的 G 代码; 宏程序调用或子程序

调用指令。

5) 执行 G71 ~ G73 循环时, 只有在 G71 ~ G73 指令的程序段中, F、S、T 是有效的, 在调用的程序段 $ns \sim nf$ 之间编入的 F、S、T 功能将全部被忽略; 相反, 在执行 G70 精车循环时, G71 ~ G73 程序段中指令的 F、S、T 功能无效, 这时, F、S、T 值取决于程序段 $ns \sim nf$ 之间编入的 F、S、T 功能。

6) 在 MID 方式不能指令 G70、G71、G72 或 G73, 如果指令了, 会产生 67 号 P/S 报警, 在 MID 方式可以指令 G74、G75 或 G76。

7) 当执行 G70、G71、G72 或 G73 时, 用地址 P 和 Q 指定的顺序号不应当在同一程序中指定两次以上。

8) 在 G71 ~ G73 程序段中, 系统是根据 G71 ~ G73 程序段中是否指定 P、Q 来区分 Δd (Δi)、 Δu 及 Δk 、 Δw 的。当程序段中没有指定 P、Q 时, 该程序段中的 U 和 W 分别表示 Δd (Δi) 和 Δk ; 当程序段中指定了 P、Q 时, 该程序段中的 U、W 分别表示 Δu 和 Δw 。

9) G71 ~ G73 程序段中的 Δw 、 Δu 是指精加工余量值, 该值按其余量的方向有正、负之分。另外, G73 指令中的 Δi 、 Δk 值也有正、负之分, 其正、负值是根据刀具位置和进、退刀方式来判定的。

九、切槽、钻孔循环 (G74、G75)

1. 端面切槽、钻孔循环 (G74)

格式: G74 R(e);

格式: G74 X(U)_Z(W)_P(Δi) Q(Δk) R(Δd) F_;

G74 指令适用于加工端面切槽或回转中心钻孔 (刀装在刀架上, 尾座无效)。其中, e 为退刀量, 该值是模态值; X(U)_Z(W)_为切槽终点坐标; Δi 为刀具完成一次切削后, 在 X 方向的移动量 (该值用不带符号的半径值表示); Δk 为 Z 方向每次切深量 (该值用不带符号的值表示); Δd 为刀具在切削底部的退刀量, d 的符号总是正的, 但是, 如果地址 X(U) 和 i 被省略, 退刀方向可以指定为希望的符号; F 为进给速度。该循环可实现断屑加工, 如果 X(U) 和 P 都被省略或设定为零时, 只是在 Z 向钻孔, 如图 2-4-15 所示。

2. 径向切槽、钻孔循环 (G75)

格式: G75 R(e);

格式: G75 X(U)_Z(W)_P(Δi) Q(Δk) R(Δd) F_ ;

G75 指令适用于加工径向切槽或排屑钻孔。其中, e 为退刀量, 该值是模态值; X(U)_Z(W)_为切槽终点处坐标; Δi 为 X 方向每次切深量 (该值用

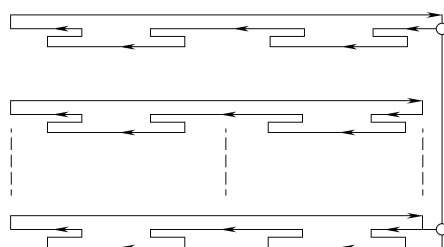


图 2-4-15 端面切槽、钻孔循环

不带符号的值表示); Δk 为刀具完成一次轴向切削后, 在 Z 方向的移动量 (该值用不带符号的半径值表示); Δd 为刀具在切削底部的退刀量, d 的符号总是正的, 但如果地址 $Z(W)$ 和 k 被省略, 退刀方向可以指定为希望的符号; F 为进给速度。该循环可以实现径向 X 切槽, 如图 2-4-16 所示。

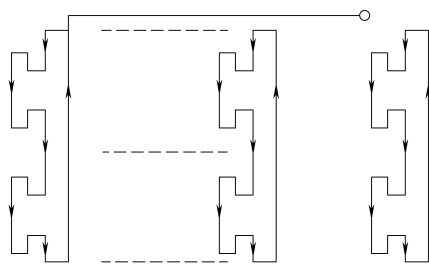


图 2-4-16 径向切槽、钻孔循环

3. 使用切槽复合固定循环 (G74、G75) 时的注意事项

1) 在 FANUC 系统中, 当出现以下情况而执行切槽复合固定循环指令时, 将会出现程序报警: $X(U)$ 或 $Z(W)$ 指定, 而 Δi 值或 Δk 值未指定或指定为零; Δk 值大于 Z 轴的移动量 (W) 或 Δk 值设定为负值; Δi 值大于 $U/2$ 或 Δi 值设定为负值; 退刀量大于进刀量, 即 e 值大于每次切削深度 Δi 或 Δk 。

2) 由于 Δi 或 Δk 为无符号值, 因此刀具切深完成后的偏移方向由系统根据刀具起刀点及切槽终点的坐标自动判断。

3) 切槽过程中, 刀具或工件受较大的单方向切削力, 容易在切削过程中产生振动。因此, 切槽加工中进给速度 F 的取值应略小 (特别是端面切槽时), 通常取 $0.05 \sim 1.2 \text{ mm/min}$ 。

十、螺纹加工循环 (G32、G92、G76)

螺纹切削可分为单行程螺纹切削、简单螺纹循环和螺纹切削复合循环。

1. 单行程螺纹切削 (G32)

格式: $G32 \quad X(U) \_ Z(W) \_ F \_;$

$G32$ 指令用来完成单行程螺纹切削, 车刀进给运动严格根据输入的螺纹导程进行。但是车入、切出、返回均需输入程序。其中 F 为螺纹导程, 单位为 0.01 mm/min , 如图 2-4-17 所示。

2. 螺纹切削循环 (G92)

格式: $G32 \quad X(U) \_ Z(W) \_ I \_ F \_;$

螺纹切削循环 $G92$ 为简单螺纹循环, 该指令可以切削锥螺纹和圆柱螺纹, 其循环路线与前面的单一形状固定循环指令基本相同, 只是将 F 后面的进给量改为螺距值即可。其中, X 、 Z 为螺纹终点的坐标值; U 、 W 为螺纹终点坐标相对于螺纹起点的增量坐标; I 为锥螺纹起点和终点的半径差 (有正、负), 加工圆柱螺纹时为零。使用螺纹切削单一固定循环 ($G92$) 时, 需要注意: 在螺纹切削过程中, 按下循环暂停键时, 刀具立即按斜线退回, 然后先回到 X 轴的起点, 再回到 Z 轴的起点, 在退回过程中, 不能进行另外的暂停; 如果在单段方式下执行 $G92$ 循环,

则每执行一次循环，必须按多次循环启动按钮；G92 指令是模态指令，当 Z 轴移动量没有变化时，只需对 X 轴指定其移动指令即可重复执行固定循环动作；在 G92 指令执行过程中，进给速度倍率和主轴速度倍率均无效，如图 2-4-18 所示。

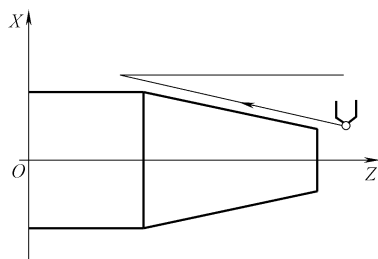


图 2-4-17 单行程螺纹切削

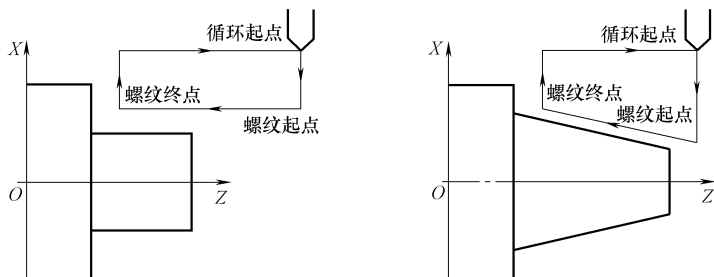


图 2-4-18 螺纹切削循环

3. 螺纹切削复合循环 (G76)

格式：G76 P(m) (r) (a) Q($\Delta d_{\min}$) R(d)；

格式：G76 X(U)_Z(W)_R(i) P(k) Q(Δd) F_；

螺纹切削复合循环使螺纹车刀向深度方向并沿基本牙型一侧的平行方向进刀，从而保证了螺纹粗车过程中始终用一个切削刃进行切削，减小了切削阻力，提高了刀具寿命，为螺纹的精车质量提供了保证。其中，m 为精加工重复次数；r 为倒角量，即螺纹切削退尾处；a 为刀尖角度的选择，可选 80° 、 60° 、 55° 、 30° 、 29° 、 0° ； $\Delta d_{\min}$ 为最小切深，该值用不带小数点的半径值表示；d 为精加工余量，该值用不带小数点的半径值表示；X(U)_Z(W)_为螺纹终点坐标值；i 为锥螺纹起点与终点的半径差，i 为零时可加工圆柱螺纹；k 为螺纹牙型高度，该值用不带小数点的半径值表示，为正值； Δd 为第一刀切削深度（半径值），为正值；F 为进给速度。

十一、子程序调用指令 (M98、M99)

格式：M98 P_ L_ ；

⋮

M99；

当一个程序反复出现或在几个程序中都要使用它，可以把这类程序作为固定

程序，并预先储存起来，使程序简化，这组程序叫子程序。主程序可以调用子程序，一个子程序也可以调用下一级子程序。子程序必须在主程序结束后建立，其作用相当于一个固定循环。其中，P 为调用子程序的程序号；L 为重复调用子程序的次数。

十二、钻孔固定循环（G80 ~ G89）

通常，钻孔操作编程方法需要几个程序段，而固定循环只需要一条指令，从而使编程大大简化，FANUC 系统的钻孔固定循环见表 2-4-5。

表 2-4-5 钻孔固定循环

G 代码	钻孔轴	孔加工操作（负向）	孔底位置操作	退回操作（正向）	应 用
G80	—	—	—	—	取消
G83	Z 轴	切削进给/断续	暂停	快速移动	正面钻孔循环
G84	Z 轴	切削进给	暂停主轴反转	切削进给	正面攻螺纹循环
G85	Z 轴	切削进给	—	切削进给	正面镗循环
G87	X 轴	切削进给/断续	暂停	快速移动	侧面钻孔循环
G88	X 轴	切削进给	暂停主轴反转	切削进给	侧面攻螺纹循环
G89	X 轴	切削进给	暂停	切削进给	侧面镗循环

1. 钻孔循环操作

钻孔循环操作包括六种顺序：

- ①X(Z) 和 C 轴定位；
- ②快速移动至 R 点平面；
- ③孔加工；
- ④孔底操作；
- ⑤退刀至 R 点平面；
- ⑥快速移动至起始点。

注意：初始平面为安全进刀的一个平面，初始平面到零件表面的距离可以任意设定。使用 G98 时，刀具返回该初始平面，G98 指定刀具从孔底返回到初始平面，一般用于最后一次钻孔操作；R 点平面又称为 R 参考平面，此平面是由快进改为工进的平面，距离工件表面一般为 2 ~ 5mm，使用 G99 时刀具返回 R 点平面，G99 指定刀具从孔底返回到 R 点平面，一般用于第一次钻孔操作；加工盲孔时孔底平面就是孔底的 Z 轴长度，加工通孔时一般要伸出工件底面一段距离。

2. 钻孔固定循环（G80 ~ G89）

格式：G_ X(U)_ C (H)_ Z_ R_ Q_ P_ F_ M_ K_；

钻孔循环要注意：G83、G85、G87 和 G89 是模态 G 代码，保持有效一直到被取消。有效时，其状态是钻孔方式，在钻孔方式下钻孔数据一旦指定就保持不变，直至修改或取消，在固定循环开始时指定所有必需的钻孔数据，当固定循环执行时，只指定修改数据；循环之前，必须用辅助功能 M03 使主轴旋转；在每个固定循环中，R（初始平面和 R 点平面之间的距离）总是作为半径值处理。Z 或 X（点 R 和孔底之间的距离）是作为直径值还是半径值，取决于数控车床的数控系统；操

作时,若使用复位或急停按钮时,数控装置停止,固定循环加工和加工数据仍然被存储着,所以再次开始加工时,应该使用固定循环剩余动作运行结束;用 G80 取消固定循环指令,若程序中使用代码 G00、G01、G02、G03 时,循环加工方式及其加工数据也全部取消。钻孔程序中, X_ C_或 Z_ C_为孔位数据, C 轴和 X 或 Z 轴用作定位轴,不用作定位轴的 X 和 Z 轴用作钻孔轴; Z 或 X 为从点 R 到孔底的距离; Q 为每次切削的深度; P 为孔底暂停时间; F 为切削进给速度; K 为重复次数; M 为 C 轴夹紧的 M 代码。

十三、刀具半径补偿指令 (G41、G42、G40)

当用圆形刀具编程时,利用刀具半径自动补偿功能,只需要向系统输入刀具半径值,即可对零件轮廓尺寸进行编程,而不必计算刀心轨迹按照刀心轨迹编程。而当刀具的实际半径与理论半径不一致、刀具磨损、更换新刀甚至用同一把刀具实现不同工序间余量加工等工况时,同样只改变输入的半径值,而原来的轮廓程序无需改变。刀具半径补偿指令可使刀具按程序坐标尺寸的法向偏置一个输出的半径值。G41 为左偏指令,即顺着刀具前进方向看,刀具偏心在零件轮廓的左边;而偏心在右边则用 G42 指令;G40 为补偿取消指令。G40、G41、G42 为模态指令。

十四、刀具长度补偿指令 (G43、G44)

刀具长度补偿又称刀具长度偏置,在刀具的轴向,当给定的程序值与要求的实际位移值不一致时,利用补偿值给对应的程序值予以补偿,而不必修改程序。

第七节 数控车床的编程特点

与数控铣床相比,数控车床编程具有以下特点:

- 1) 一般准备功能用 G50 完成工件坐标系的设定。
- 2) 一个程序段中,根据图样上标注的尺寸,可以采用绝对值编程 (X、Y)、增量值编程 (U、W) 或两者混合编程。
- 3) 由于被加工零件的径向尺寸在图样上测量时,都是以直径表示的,因此直径方向用绝对值编程时, X 以直径值表示;用增量值编程时,以径向实际位移量的两倍值表示,并带上方向符号。
- 4) 为了提高工件的径向尺寸精度, X 向的脉冲当量取 Z 向的一半。
- 5) 由于车削加工常用棒料或锻料作为毛坯,加工余量大,因此为了简化编程,数控装置常具有多次重复循环切削功能。
- 6) 为了提高工件的加工精度,当编制圆头刀程序时,需要对刀具半径进行补偿。大多数数控车床都具备刀具半径自动补偿功能 (G41、G42),这类数控车床可以直接按工件轮廓尺寸编程。对不具备刀具半径自动补偿功能的数控车床,编

程时需要先计算补偿量值。

第八节 数控车床数控系统（CNC）的功能与操作

现代数控装置已经发展成为计算机控制（CNC）装置，也称为软件数控装置。计算机数控（CNC）系统是现代的主流数字控制系统。

一、数控系统主要功能

1. 控制功能

控制功能指装置能控制的运动轴数及能同时控制的运动轴数，包括移动轴、传动轴、基本轴和附加轴。一般用 X、Y、Z、U、V、W 等字母表示。

2. 准备功能

准备功能也称 G 功能，用来指令机床动作方式的功能，包括基本移动、程序暂停、平面选择、坐标设定、刀具补偿、基准点返回、固定循环、公英制转换等。

3. 辅助功能

辅助功能也称 M 功能，用来指定机床辅助功能，包括程序停、主轴正/反转、切削液通/断、换刀等。辅助功能是通过 PLC 或 I/O 接口实现的。

4. 插补功能

插补功能用数字信息描述零件轮廓形状，通过数控装置有规律地控制机床各个轴的单位运动，从而实现刀具与工件的相对运动，来完成零件轮廓的加工。简单地说，零件轮廓上的已知点之间，用通过有规律地分配各个轴的单位运动而逼近零件轮廓，即称为插补。在数控加工中，根据给定的数学函数，诸如线性函数、圆函数或高次函数，在理想的轨迹或轮廓上的已知点之间，确定一些中间点的一种方法，就实现插补。一般零件的轮廓，常由直线段和圆弧线段组成，其他二次曲线或高次函数也均可以由直线和圆弧线段逼近，故一般数控装置中均有直线插补和圆弧插补功能。

（1）直线插补方式 给出两端点间的插补数字信息，借此信息控制刀具运动，使其按照规定的直线加工出理想的表面，称为直线插补。

（2）圆弧插补方式 给出圆弧的两端点、半径或圆心等插补数字信息，借此信息控制刀具的运动，使其按照规定的圆弧加工出理想的表面，称为圆弧插补。

除了直线和圆弧插补外，还有二次曲线插补（如抛物线插补）、高次函数插补（如螺旋插补）、极坐标插补、正弦插补、圆筒插补和样条插补等插补方式。处理这些插补的算法（包括逐点比较法、数字积分法、矢量法和直接函数运算法等），称为插补运算。插补运算是由计算机完成的。

5. 固定循环加工

对机械加工中一些典型加工工序，如钻孔、镗孔、深孔钻削、切螺纹等所需的动作循环预先编好程序，用 G 代码指令控制循环过程，可大大简化程序编制并提高加工效率。

6. 进给功能

进给功能用 F 代码直接指令各轴的进给速度，包括切削速度、同步进给速度、快速进给速度、进给倍率（可在 0 ~ 200% 变化）等。同时，可以通过主轴上的位置编码器，实现控制同步进给速度。

7. 宏程序功能

宏程序功能由系统生产厂家开发的对用户开放的一种功能，是用户可自行扩展的数控系统功能。

8. 主轴功能

主轴功能是指定主轴转速的 S 代码功能，也可实现主轴的转速控制和准确定位。

9. 补偿功能

补偿功能常见的有刀具长度、直径及丝杠螺距误差、反向间隙的补偿。具体补偿的实现是把刀具长度或直径（铣刀直径）的相应补偿量、丝杠的螺距误差和反向间隙误差的补偿量输入 CNC 装置的存储器中，加工时数控系统按补偿量重新计算刀具的运动轨迹和坐标尺寸，以加工出符合要求的零件。另外还有温度补偿、智能补偿（即随动补偿）等。其补偿功能是通过 CNC 中的 G 功能指令执行的。

10. 刀具功能（T 功能）和第二辅助功能

刀具功能用来选择刀具，用 T 代码及其后续的 2 位或 4 位数值表示；第二辅助功能用来指定工作台分度。

二、数控系统的操作

1) 增量进给方式是用来手动调整机床定位的一种方式。

2) JOG 手动进给与增量进给作用相同，由操作面板选定 JOG 方式后，其执行方式与增量进给相同。CNC 系统可设有快速 JOG 进给，并且允许两个坐标同时运动。

3) 单程序段操作。每按下一次启动按钮便执行一个程序，然后停止。

4) 手摇脉冲发生器进给。带手柄可用手摇动发出脉冲的装置（电子手轮），机床按照发出的脉冲数和摇动方向执行进给运动，使机床工作方式相似于手动操作机床。

5) MID 方式。MID 方式即手动数据输入方式，通过文字数字键盘将必要的各种信息输入到存储器中，并在 CRT 上显示出来。

6) 自动工作中的 MID 方式。在自动工作中，当程序执行到某一程序段时，可

以同时以键盘手动输入一个完整的程序段。

7) 自动工作中插补辅助功能。在自动工作中能以键盘手动输入辅助功能, 如主轴转速 S、刀具功能 T、辅助功能 M 等, 且输入的功能可立即生效。

8) M00 和 M01。程序停 M00 指令出现的程序段执行完成后自动进入暂停状态, 按下循环启动按钮后继续执行程序; 程序选择停 M01 的动作与 M00 相似, 只是要求将操作面板设置的一个开关拨到选择停生效位置时才起作用。

9) 程序段跳过 “/”。当操作面板上的跳过开关拨至生效位置时, 在程序自动执行中遇到前面有 “/” 符号的程序段便自动跳过不执行, 而执行后面的程序段。

10) 返回参考点操作。在每次开始加工前都要把机床的各个坐标轴移到参考点上, 以便建立起绝对坐标系后再允许加工开始。

11) 程序段的检索和检索后的程序启动。当需要从一个程序的某一中间程序段开始加工时, 可以先手动输入要找的程序段号, 然后通过程序段检索操作, 自动从程序开始按顺序寻找到该程序段, 并读入该程序段的内容。

12) 干预和干预后返回原轨迹操作。当加工过程中发生刀具严重磨损甚至折断而需要更换新刀时, 或者加工过程中临时需要进行检查工件时, 便可人为地令其停止在某一程序段的结束点或任意点, 手动将机床移动到适当的位置, 然后进行更换新刀或工件检查等工作。

13) 刀具长度测量。用机床配置的测头测量并输入刀具长度偏移值。

14) 显示功能。便于监视各种工作状态, 进行人机对话及故障指示。

15) 菜单开关。通过 CRT 对一些功能的通和断状态进行设置, 取代机床操作面板的开关。

第九节 数控车床的自动编程

一、自动编程的概述

手工编程中的刀具相对于零件的进给轨迹计算、加工程序单编写和程序校核等, 都可以由计算机辅助形式来完成, 把它称为计算机零件编程, 常称为自动编程或计算机辅助编程。它利用计算机及其外围设备 (打印机、绘图仪) 来完成大部分或全部程序编制内容。编程人员只需要根据零件图及工艺要求向计算机输入少量数据, 即可自动输出加工程序或自动穿制数控纸带, 程序的校核及修改也极其方便。它具有编程速度快、周期短、质量高、使用方便等一系列优点。与手工编程相比, 可提高编程效率数倍或数十倍, 零件越是复杂, 其技术经济效益越是显著, 特别是能编制手工编程无法完成的程序 (如自由曲面), 因此, 自动编程技术已经获得广泛使用。

二、自动编程的原理

通过计算机编制数控加工程序的一般过程如图 2-4-19 所示,程序员首先将被加工零件的几何图形及其有关工艺过程用计算机能够识别的信息作为计算机的输入,计算机经过翻译,首先形成机内零件几何元素的数据,然后进行工艺处理(如刀具选择、进给分配、工艺参数选择)与刀具运动轨迹的坐标计算,便自动生成一系列的刀位数据(包括每一次进给的运动坐标数据和工艺参数),这一过程称为主信息处理或前置处理,最后经后置处理便能输出具体机床所要求的加工程序单和数控纸带。主信息处理是通用的,只与零件图形及工艺有关,而与具体机床无关。后置处理则是专用的,与具体机床的功能代码和程序格式有关。

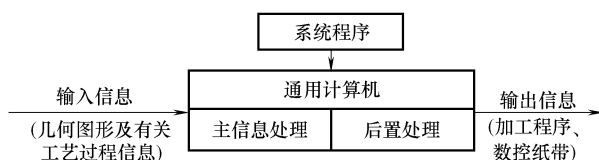


图 2-4-19 自动编程的一般原理

系统的输出一般为加工程序单和数控纸带,也有经通信接口直接将计算机内的加工程序直接传输给机床的数控装置。整个系统处理过程是在系统程序的控制下进行的。系统程序包括主信息处理程序和后置处理程序两大模块。每个模块又由多个子模块及子处理程序组成。这些程序是系统设计人员根据系统输入信息、输出信息及系统的处理过程,事先用计算机高级语言开发的一种系统软件。计算机有了这套处理程序,才能识别、转换和处理全过程,它是系统的核心部分。上述处理过程所需的计算机及其外设等硬件与系统软件即构成了计算机零件程序编制系统,简称自动编程系统。自动编程系统的类型,主要取决于系统的输入方式。

根据输入方式不同,自动编程系统主要有数控语言编程系统、交互图形编程系统及会话编程系统。根据系统能够处理的功能多少,自动编程系统有大型、中型和小型系统之分。大型系统的功能较强,适用范围较广泛;小型系统的针对性较强。此外,根据编程系统与机床数控系统是否合一,还有有脱机编程与在线编程之分。前者可以为多台机床的程序编制服务,通用性强;后者为数控系统兼有编程功能,并可在加工的同时编制代加工零件的程序。

语言系统处理零件源程序过程(用数控语言编制的零件源程序输入系统后,在计算机系统程序的控制与处理下自动生成加工程序):输入翻译与几何预处理;运动轨迹处理;后置处理。

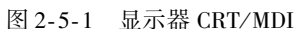
三、自动编程的软件

Master CAM 软件集 CAD 设计能力和 CAM 加工能力于一体，其造型输入方法清晰明了，易学易懂，已被广泛地应用到制造、模具行业。该软件有三维图形线框造型处理功能、曲面造型功能、曲面高阶曲线生成编辑功能、多曲面的过渡倒圆处理、多曲面的连续加工、曲面的过切检测和消除等功能。在很大程度上增强了造型编辑功能和工艺处理能力，适用于自动编程系统。

数控车床的操作

一、数控车床面板功能操作

以 CKA6150 型号 FANUC 0i Mate TC 数控车床为例，CKA6150 数控车床的控制面板通常由显示器 CRT/MDI 面板（见图 2-5-1）和机床控制面板（见图 2-5-2）构成，通过与操作面板上的按钮组合使用执行基本操作。



145



图 2-5-2 机床控制面板

(1) CRT/MDI 机床操作面板功能键控制功能（见表 2-5-1）

表 2-5-1 CRT/MDI 机床操作面板功能键控制功能

功 能 键	功 能 含 义
POS	显示当前机床的位置坐标
PRGRM	在 EDIT 方式下，编辑、显示存储器里的程序；在 MDI 方式下，输入、显示 MDI 数据；在机床自动操作时，显示程序指令值
MENU//OFFSET	用于设定、显示刀具补偿值和宏程序变量
DGNOS/PARAM	用于系统参数的显示、设定及自诊断数据的显示
OPR/ALARM	用于显示报警信息
AUx/GRAPH	用于轨迹仿真的显示
地址和数据键	用于字母、数字及符号的输入
RESET	复位键，当机床自动运行时，按下此键，则机床的所有动作都停下来。此状态下若恢复自动运行，程序将从头执行，刀具需返回参考点
START	启动键，按下此键，便可执行 MDI 的命令或自动运行
INPUT	输入键。按下此键，可输入参数或补偿值等，也可以在 MDI 方式下输入命令数据
CAN	删除键。用于删除已输入到缓冲器里的单个字符或符号
CURSOR(光标移动键)	控制光标向下“↓”或向上“↑”移动
PAGE（翻页键）	控制页面向后翻页“↓”或向前翻页“↑”
ALTER(程序编辑键)	用于程序编辑中的替换
INSRT（程序编辑键）	用于程序编辑中的插入
DELET（程序编辑键）	用于程序编辑中的删除
EOB（程序编辑键）	用于程序编辑中的结束程序段

(2) 机床控制面板的操作 (见表 2-5-2)

表 2-5-2 机床控制面板的操作

功 能 钮	功 能 含 义
NC 控制电源按钮	“通”: 按此按钮, 荧光屏显示 READY 字样, 表示数控系统控制已正常工作; “断”: 按此按钮, 数控系统控制电源被切断, 荧光屏显示消失, 控制机断电
“紧急停”按钮	在紧急状态下按此按钮, 则机床各部分将停止运动, NC 控制系统清零。在按紧急按钮后, 复位系统必须进行回零操作, 否则系统超程保护不起作用
“主轴正转”按钮	按钮只在手动状态 (包括点动、单步) 起作用, 主轴的转速由手动数据输入或程序中的 S 指令决定
“主轴反转”按钮	按钮只在手动状态 (包括点动、单步) 起作用, 主轴的转速由手动数据输入或程序中的 S 指令决定
“主轴停止”按钮	按钮在所有工作状态均起作用, 按此按钮主轴立即停止, 重新启动主轴需把“功能选择”开关放在手动位置, 按相应的主轴正、反转按钮
“点动”按钮	按下“点动”按钮, 刀架按“点动倍率”开关选择的速率移动
“进给倍率选择”开关	在自动进给操作时, 可以调整进给量, 当选择“空运转”状态时, 自动操作的 F 指令无效
“快移”按钮	此按钮与“点动”按钮同时使用, 刀架按“快移倍率”开关选择的速率快速移动
“进给保持”按钮	在自动循环操作时按此按钮, 刀架立即停止, 红色指示灯亮。要使机床继续工作, 必须按“循环启动”按钮, 取消“进给保持”状态
“空运转选择”按钮	此功能有效时, 运行程序中全部 F 指令都无效, 机床按“进给倍率选择”开关所选定的进给量执行
“机床锁住选择”按钮	此功能有效时刀架不能移动, 程序的执行和显示都正常
“快移倍率”开关	当“快移倍率”开关置零时, 执行快移低速; 当“快移倍率”开关在 100% 位置时, 执行快移高速
“循环启动”按钮	自动运行启动, “循环启动”按钮可以解除进给保持, 使机床继续工作。可使“选择停”功能取消, 使机床继续按规定的程序执行

注意: “循环启动”按钮在下列情况下不起作用:

- 1) 急停状态。
- 2) 复位状态。
- 3) 程序顺序号检索时。
- 4) 当报警发生时。
- 5) 在“状态选择”开关选择在“手动数据输入”、“自动状态”以外的位置时。

- 6) 当 NC 控制机没有准备好时。
- (3) 功能选择钮（见表 2-5-3）

表 2-5-3 功能选择钮及其功能含义

功能选择钮	功 能 含 义
编辑状态	把加工程序读入 NC，可对编入程序进行插入、删除和修改
自动状态	机床按存储在 NC 中的程序进行加工
手 动 数 据 输 入 状态	通过 NC 操作面板上的键盘进行数据输入和参数设定，编辑单次执行程序，按“循环启动”按钮执行
单步状态	自动运行程序按单程序段执行
点动状态	此状态按“点动”按钮，刀架按“点动倍率”开关选择的速率移动
回零状态	将功能选择开关选在回零位置，按“+X”、“+Z”按钮，刀架可回到机床的机械零点方向固定，两坐标轴可以同时进行回零操作
跳步	此功能有效时，程序中带有“/”标记的程序段不执行，程序执行转到下一程序段，即无“/”标记的程序段
选择停	此功能生效时，程序中的 M01 执行，自动循环停止，要使机床继续执行程序，需按“循环启动”按钮

2. 刀架移动控制

(1) 坐标移动（+X、-X、+Z、-Z） 将功能选择开关选到“回零”、“点动”、“单步”位置，按下坐标移动按钮，可以实现机床各个移动轴在某一方向的运动，X、Z 两坐标轴可以联动。

(2) 回零操作 X、Z 轴均为正方向回零。将功能选择开关选到“回零”位置，正向分别移动 X、Z 轴，机床自动返回零点，当机床刀架回到零点的指示灯亮，表示刀架已回到机床零点位置。

3. 自动运行暂停操作

数控车床在自动循环加工工件过程中，可以任意暂停加工程序，并将刀具退离工件，停止主轴运转，以便检查和测量被加工工件。操作步骤如下：

- 1) 按下“进给保持”按钮，机床进给停止，中断运行程序。
- 2) 将功能选择开关由自动状态改为手动状态。
- 3) 用“点动”、“步进”方法将刀具退离工件。
- 4) 按下“主轴停止”按钮，停止主轴转动。
- 5) 进行工件的检测及其他工作。
- 6) 按下“主轴启动”按钮。
- 7) 用“点动”或“步进”方法将刀具返回到原位置。
- 8) 将状态开关再改回自动状态。
- 9) 按下“循环启动”按钮，解除进给保持状态，继续自动加工。

4. 转塔式刀架控制

转塔式刀架可以通过 T 功能实现自动换刀,也可以进行手动操作。用程序或手动数据输入的方式,可以任意选择刀具工位。在手动转位选刀时,“功能选择”开关选择手动状态,按一下“转塔转位”按钮,即可实现手动换刀。

5. 切削液控制

切削液开、关可通过程序自动控制和按钮控制。切削液可在任何情况下随时控制。

6. 程序保护

“程序保护”开关是钥匙开关,可防止破坏内存程序。当在“有效位置”时,内存程序将受到保护,即不能进行程序编辑、数据输入操作。当在“无效位置”时,程序保护无效,可对内存进行程序编辑、数据输入等操作。

7. 超程释放操作

当机床刀架移动到工作区的极限时,压住限位开关,机床立即停止并出现超程报警,机床处于报警状态,不能工作,解除的过程是:

- 1) 将“功能选择”开关置于手动状态。
- 2) 按下“超程释放”按钮,同时按下与超程方向相反的“点动”按钮或摇动电子手轮,使机床脱离极限位置,回到工作区间。
- 3) 按下“RESET”按钮,解除控制机报警状态,这时机床即可恢复正常工作。

二、程序的输入与编辑方法

1. 数控程序手动编辑

- (1) 显示数控程序目录 点按 EDIT 按  键;按软键“Lib”。

- (2) 选择一个数控程序 点按 EDIT 或 AUTO 按  键;按  键键入字母“O”;按数字键键入搜索的号码: × × × ×;按 CURSOR  键开始搜索。找到后,NC 程序显示在屏幕上。

- (3) 回到数控程序开头 点按 EDIT 或 AUTO 按  键;按  键键入字母“O”;按 CURSOR  键。

- (4) 编辑 NC 程序 点按 EDIT 按  键;移动光标:按 PAGE  或

 翻页，按 CURSOR  或  移动光标；按数字/字母键将数据输入输入域；按  键删除输入域中的数据；按  键，删除光标所在的代码。

(5) 删除一个数控程序 点按 EDIT 按  键；按  键键入字母“O”；按数字键键入要删除的程序号：××××；按  键。

(6) 删除全部数控程序 点按 EDIT 按  键；按  键键入字母“O”；按  键键入“-”；按  键键入“9999”；按  键。

(7) 搜索一个指定的代码 点按 EDIT 按  键；输入需要搜索的字母或代码；按 CURSOR  键开始在当前数控程序中搜索。

(8) MDI 方式输入和运行程序 点按 MDI 按  键进入程序编辑页面；按数字/字母键将数据输入输入域，按  键输入；再按  键开始运行。按  键可清除数据。按  键，把输入域的内容替代光标所在的代码。按  键，把输入域的内容插入到光标所在代码后面。

(9) 通过机床操作面板手工输入 NC 程序 点按 EDIT 按  键；按  键键入字母“O”；按数字键键入程序编号，但不可以与已有程序编号重复；按  键，开始程序输入；用回车换行键  结束一行的输入后换行。

2. 从计算机输入一个数控程序

按机床操作面板上 EDIT 开关单击机床 DNC 传送，选择数控程序文件；按  键；按数字键输入程序编号“O××××”；按  键，读入数控程序。

3. 向计算机输出数控程序

按机床操作面板上 EDIT 按  键；按  键；在对话框中输入文件名，按

“保存”按钮。

三、程序的校验

1. 检查程序

现代数控车床都是按照事先编制好的加工程序自动地对工件进行加工的。在进行数控编程之前,编程人员应了解所用数控机床的规格、性能、CNC 系统的功能和编程指令格式等,并且在程序输入数控系统以后还要对程序进行一些必要的检查:

(1) 小数点输入检查 现在的数控系统,多数允许通过系统参数的改变来设置小数点的输入与否,但是一般操作者是不能修改参数的。当遇到系统参数不允许忽略小数点或必须使用小数点时,检查小数点就是程序检查中非常重要的一环,因为程序中有无小数点的含义不同。无小数点时,将与系统设定的最小输入增量有关。小数点可用于距离、时间、速度等单位确认。

如: G01 X1.0 表示 $X = 1.0\text{mm}$;

G01 X1 为 X0.01 或 0.001 (系统参数设定);

G04 X2.0 表示暂停 2s;

G04 U2.0 表示暂停 2s;

G04 P2000 表示暂停 2s (2000ms)。

对于没有限制的数控系统,用与不用小数点在距离上是一样的。

如 G01 X30.0 和 G01 X30 都是 $X = 30.0\text{mm}$ 。

(2) 英/米制输入检查 在 FANUC 系统中, G20 为英制, G21 为米制,均为模态指令。必须在程序开始设定坐标系之前的一个单独程序段中指定,或通过 MDI 方式指定,否则系统将按照已有的模态运行。

(3) 进给速度 程序中设定的进给速度要作相应的检查调整,根据需要指定 mm/r (每转进给量) 或 mm/min (每分钟进给量)。

据此,在不了解所使用的数控系统或机床经常有多名操作者使用时,应该事先指定一些模态代码。如习惯使用米制、每转进给量的操作者通常用以下方法编写程序头 (FANUC 系统):

G99 G21 G97 G40;

T0100;

M03 S × × ×;

...

...

2. 图形模拟

在程序检查后,对于有图形显示功能的数控系统,模拟加工零件的图形是必不可少的检查校验过程,通过模拟,检查刀具轨迹是否正确。如图 2-5-3 中虚线部

分为走刀路线，实线部分为工件轮廓。对没有图形显示功能的数控系统，可通过机床空运转进行检查。

检查模拟方法只能检查刀具运动轨迹的正确性，不能检查对刀误差、输入误差、计算误差和加工误差。另外，某些数控机床在锁住的情况下进行图形模拟后，影响机床的坐标系而发生变化，图形模拟后机床需进行返回参考点操作来重新确定工件坐标系。

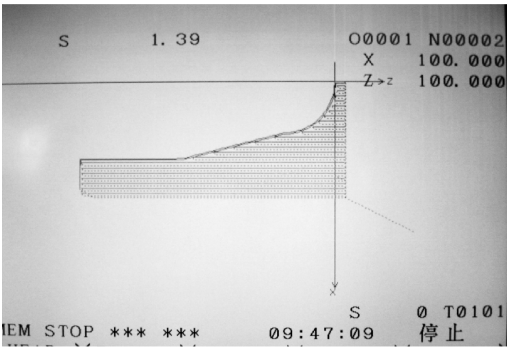


图 2-5-3 图形模拟

四、程序的空运行、单步执行

1. 空运行

当一个数控程序检查模拟之后，在实际加工之前，还可以通过空运行机床的方法来检查程序。这个过程可以检查所输入的加工程序是否能够按照程序希望的那样来操纵机床。

空运行前可以在实际加工工件的位置假定进行对刀（特别要注意 Z 轴方向的安全距离），在不安装工件的情况下实际地运转机床，观察刀具所走的实际轨迹，在机床实际运转过程中通过控制、改变操作面板上的“空运行”按钮和“进给倍率”开关来控制刀具的移动速度。

如果机床上已经安装工件且已对刀完毕，这时进行自动运行检查时，可以通过工件坐标系平移的方法来进行。

例如工件在机床上的加工长度为 150mm，只需在系统的工件坐标系平移画面中输入 Z 向长度大于 150mm 的负值（如 Z -200.0）即可。自动运行检查时，刀具运动轨迹就在原工件坐标系的基础上沿 Z 轴方向远离工件 200mm。检查后在系统的工件坐标系平移画面中输入 Z0，工件坐标系恢复到原来的数值。图 2-5-4 所示为 FANUC 0i Mate TC 系统工件坐标系平移画面。

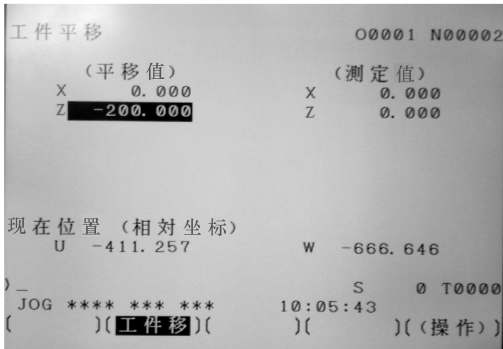


图 2-5-4 工件坐标系平移画面

2. 单步执行

实际加工之前或试切工件时，还可以通过机床单步执行机床的方法来检查程

序。使用这种方法可以逐步检查程序每一步的正确性。

机床自动运行时，按下机床控制面板上的“单段”开关后，按一次“循环启动”按钮，程序执行一个程序段后就停止。再按一次“循环启动”按钮，程序执行下一个程序段。

五、程序的调试与运行方法

1. 程序的自动调试与运行

- 1) 检查机床是否机床回零。
- 2) 导入数控程序。
- 3) 控制面板上的功能键置于 AUTO 档，进入自动加工模式。
- 4) 按  中的“Start”按钮，数控程序开始运行。

2. 中断运行

数控程序在运行过程中可根据需要暂停、停止、急停和重新运行。

数控程序在运行时，单击  中的“Hold”按钮，程序暂停运行，再次单击“Start”按钮，程序从暂停行开始继续运行。

数控程序在运行时，单击  中的“Stop”按钮，程序停止运行，再次单击“Start”按钮，程序从开头重新运行。

数控程序在运行时，按下“急停”按钮 ，数控程序中断运行，继续运行时，先将“急停”按钮松开，再按  中的“Start”按钮，余下的数控程序从中断行开始作为一个独立的程序执行。

3. 自动/单段方式

- 1) 检查机床是否机床回零。若未回零，先将机床回零。
- 2) 导入数控程序或自行编写一段程序。
- 3) 检查控制面板上“MODE”旋钮是否置于 AUTO 档，若未置于 AUTO 档，则用鼠标左键或右键单击“MODE”旋钮，将其置于 AUTO 档，进入自动加工模式。

- 4) 将选择单步开关  置“on”上。

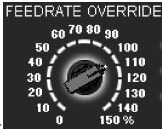
- 5) 按  中的“Start”按钮，数控程序开始运行。
在此操作中值得注意的是：

- ① 自动/单步方式执行每一行程序均需单击一次  中的

“Start” 按钮。

② 将选择跳过开关  置 “on” 上，数控程序中的跳过符号 “/” 有效。

③ 将 M01 Stop 开关  置于 “on” 位置上，“M01” 代码有效。

根据需调节进给速度（F）调节旋钮 ，控制数控程序运行的进给速度，调节范围从 0 ~ 150%。

若此时将控制面板上 “MODE” 旋钮切换到 “DRY RUN” 上，则表示此时是以 G00 速度进给。

按  键，可使程序重置。

4. MDI 模式

1) 将控制面板上 “MODE” 旋钮切换到 MDI 上，进行 MDI 操作。

2) 在 MDI 键盘上按  键，进入编辑页面，如图 2-5-5 所示。

3) 输入数据指令。在输入键盘上单击数字/字母键，第一次单击为字母输出，其后单击均为数字输出。字符显示在输入域中，可以进行取消、插入、删除等修改操作。

4) 按  键，删除输入域中的当前数据。

5) 按键盘上  键，将输入域中的内容输入到指定位置，CRT 界面如图 2-5-6 所示。

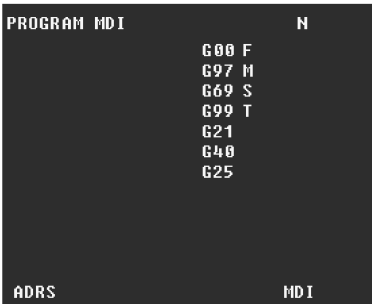


图 2-5-5 编辑页面

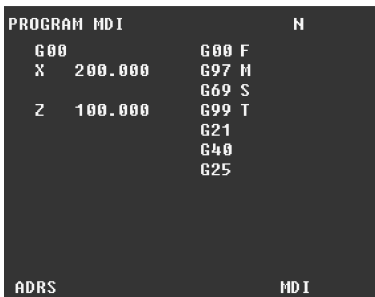


图 2-5-6 CRT 界面

6) 按  键，已输入的 MDI 程序被清空。

7) 输入完整数据指令后，按“运行控制”按钮  运行程序。运行结束后 CRT 界面上的数据被清空。

注意：可重复输入多个指令字，若重复输入同一指令字，后面输入的数据将覆盖前面输入的数据，重复输入 M 指令也会覆盖以前的输入。

六、机床试运行

1. 机床上电

接通电源，检查 CNC 机床外表是否正常（例如检查前门和后门是否已关闭），在电源接通后检查显示的位置画面，如果接通电源时发生报警，显示报警画面，查找报警信息，解除报警。

2. 手动返回参考点

手动返回参考点是利用操作面板上的开关和按钮将刀具移动到参考点，其步骤是首先按返回参考点方式选择开关，为了减小速度，可调整“快速移动倍率”开关，然后按与返回参考点相应的进给轴和方向选择开关，按住开关直至刀具返回到参考点。当刀具返回到参考点后，返回参考点指示灯（LED）点亮，对其他轴也执行同样的操作。

3. JOG 进给移动刀具

首先按手动连续方式选择开关，按进给轴和方向选择开关，机床沿相应轴的相应方向移动，在开关被按期间，机床按设定的进给速度移动，开关一释放，机床就停止（手动连续进给速度可由手动连续进给速度倍率刻度盘调整；若在按进给轴和方向选择开关期间按了快速移动开关，则在快速移动开关被按期间，机床按快速移动速度运动。在快速移动期间，快速移动倍率有效）。

4. 自动运行

自动运行即 CNC 机床程序运行，主要有以下几种：

(1) 存储器运行 程序事先存储到存储器中，当选择了这些程序中的一个并按下机床操作面板上的“循环启动”按钮后，启动自动运行并且循环启动 LED 灯点亮，在自动运行中，机床操作面板上的“进给暂停”按钮被按下后，自动运行被临时中止。当再次按下“循环启动”按钮后，自动运行又重新进行。当 MDI 面板上的键被按下后，自动运行被终止并且进入复位状态。其具体操作步骤如下：

1) 按下存储器方式选择键。

2) 从存储的程序中选择一个程序。

3) 按下操作面板上的“循环启动”按钮，启动自动运行，并且循环启动 LED 灯闪亮。当自动运行结束时，指示灯熄灭。

4) 要在中途停止或者取消存储器运行，请按以下步骤进行：

① 停止存储器运行。按下机床操作面板上的进给暂停按钮，进给暂停指示灯 LED 亮，并且循环启动指示灯熄灭。机床响应有：a. 当机床移动时，进给减速直到停止；b. 当程序在停刀状态时，停刀状态中止；c. 当执行 M、S 或 T 时，执行完毕后运行停止。当进给暂停指示灯亮时，按下机床操作面板上的“循环启动”按钮，会重新启动机床的自动运行。

② 终止存储器运行。按下 MDI 面板上的键，自动运行被终止，并进入复位状态。当在机床移动过程中执行复位操作时，机床会减速直到停止。

(2) MDI 运行 在 MDI 方式中通过 MDI 面板可以编制最多 10 行的程序并被执行。程序格式和通常程序一样，MDI 运行适用于简单的测试操作。

1) 按下 MDI 方式开关。

2) 按下 MDI 操作面板上的功能键，选择程序，屏幕显示并自动加入程序号 00000。

3) 用通常的程序编辑操作，编制一个要执行的程序。在程序段的结尾加上 M99，用以在程序执行完毕后将控制返回到程序开头。

4) 要完全删除在 MDI 方式中编制的程序使用以下的方法：

① 输入地址 O，然后按下 MDI 面板上的  键。

② 或者按下  键。

5) 为了执行程序，须将光标移动到程序开头，从中间点启动执行也是可以的。按下机床控制面板上的“循环启动”按钮，于是程序启动运行。当执行程序结束语句 M02 或 M30，或者执行 ER% 后，程序自动清除并且运行结束。通过指令 M99 控制自动回到程序的开头。

6) 要在中途停止或结束 MDI 操作按以下步骤进行：

① 停止 MDI 操作，按下操作面板上的“进给暂停”开关，进给暂停指示灯亮，循环启动指示灯熄灭，机床响应动作。a) 当机床在运动时，进给操作减速并停止；b) 当机床在停刀状态时，停刀状态被中止；c. 当执行 M、S 或 T 指令时，操作在 M、S 和 T 执行完毕后运行停止，当操作面板上的“循环启动”按钮再次被按下时，机床的运行重新启动。

② 结束 MDI 操作，按下 MDI 面板上的  键，自动运行结束并进入复位状态。当在机床运动中执行了复位命令后，运动会减速并停止。

(3) DNC 运行 在 DNC 运行方式期间，由于是自动运行，可以通过接口在读入外设上的程序的同时执行加工（DNC 运行）。它可以选择存储在外输入/输出设备上的文件（程序）以及指定（编制计划）自动运行的顺序和执行次数。

1) 检索要执行的程序（文件）。

2) 按机床操作面板上的 REMOTE 开关, 设定 RMT 方式, 然后按“循环启动”按钮, 于是选定的文件被执行。

(4) 手动插入操作和返回 在自动运行期间, 用进给保持使移动的刀具停止, 以便使用手动插入操作更换刀具。当自动运行恢复时, 该功能可将刀具返回到手动插入操作的开始处。

(5) 空运行 机床按参数设定的速度移动而不考虑程序中指定的进给速度, 该功能用于不装夹工件时检查机床的运动和程序的运行情况。

(6) 单段运行 在单程序段方式, 当“循环启动”按钮被按下时, 执行程序中的一个程序段然后机床停止, 在单程序段方式中用一段一段执行程序来检查程序。

第二节 数控车床对刀方法

在数控车削中, 刀具的位移受加工程序编程指令控制。在加工程序执行前, 调整每把刀的刀位点, 使刀架在转位后, 每把刀的刀位点都能尽量重合于某一理想位置上, 这一过程称为对刀。目前, 数控车床常用的对刀方法有以下几种:

一、试切对刀法

试切法对刀是实际中应用得最多的一种对刀方法。工件和刀具装夹完毕, 驱动主轴旋转, 移动刀架至工件试切一段外圆。然后保持 X 坐标不变, 移动 Z 轴, 刀具离开工件, 测量出该段外圆的直径。将其输入到相应的刀具形状补偿参数中的 X 中, 点击测量系统会自动将刀具当前 X 坐标对应于 X 原点的位置存储到刀具补偿参数中。再移动刀具试切工件端面, 在相应刀具参数中输入 $Z0$, 系统会自动将此时刀具的 Z 坐标对应于 Z 原点的位置存储到刀具补偿参数中。采用这种方法对刀一般不使用标准刀, 在加工之前需要将所要用的刀具全部都对好。

试切对刀时应注意的问题如下:

- 1) 试切对刀用坯件的材料应圆整。
- 2) 在执行各试切对刀用的程序前, 必须加引导程序补偿车床纵、横方向综合机械间隙, 否则对刀精度不易保证。
- 3) 试切对刀法对刀精度主要取决于对试切件的测量精度。
- 4) 在对刀过程中, 应充分注意车刀刀尖的中心高。
- 5) 试切对刀受到切削刃的锋利程度、刀具强度及切削用量等多种因素的影响。

二、用 G50 设置工件零点

1) 用外圆车刀先试车一外圆, 测量外圆直径后, 把刀沿 Z 轴正方向退点, 切端面到中心 (X 轴坐标减去直径值)。

- 2) 选择 MDI 方式，输入 G50 X0 Z0，单击“Start”键，把当前点设为零点。
- 3) 选择 MDI 方式，输入 G0 X150 Z150，使刀具离开工件进刀加工。
- 4) 此时程序开始的程序段应为：G50 X150 Z150……

注意：程序中用 G50 X150 Z150 时，起点和终点必须一致，即 X150 Z150，这样才能保证重复加工不乱刀。如用第二参考点 G30，也能保证重复加工不乱刀，这时程序开头的程序段应为 G30 U0 W0 G50 X150 Z150。

三、用工件移设置工件零点

- 1) 在 FANUC 0i 系统的 Offset 里，有一工件移界面，可输入零点偏置值。
 - 2) 用外圆车刀先试切工件端面，这时 Z 坐标的位置（如 Z200）直接输入到偏移值里。
 - 3) 选择“Ref”回参考点方式，按 X、Z 轴回参考点，这时工件零点坐标系即建立。
- 注意：**这个零点一直保持，只有重新设置偏置值“Z0”才可清除。

四、用 G54 ~ G59 设置工件零点

- 1) 用外圆车刀先试车一外圆，测量外圆直径后，把刀沿 Z 轴正方向退点，切端面到中心。
 - 2) 把当前的 X 和 Z 轴坐标直接输入到 G54 ~ G59 里，程序直接调用（如 G54 X50 Z50……）即可。
- 注意：**可用 G53 指令清除 G54 ~ G59 工件坐标系。

五、机内对刀仪对刀

将刀具的刀尖分别与机械对刀仪的测头接触，得到两个方向的刀偏量，记录并输入。有的机床具有刀具探测功能，通过机床上的对刀仪测头测量后自动记录刀偏量至系统。使用对刀仪对刀可免去测量时产生的误差，大大提高了对刀精度。



图 2-5-7 MAZATROL 640T 数控车床对刀仪

例如 MAZATROL 640T 数控车床对刀仪（见图 2-5-7），对刀时，按下“输入刀具设定”菜单键，选择车刀并使刀尖随刀架向已设定好位置的对刀仪 X 方向的传感器检测点移动，并与之接触，直到内部电路接通发出电信号（发出一声“噼”的声音），轴移动自动停止， X 数值自动记录在“刀具设定”的 X 数值中。移动刀尖离开传感器，与 Z 方向的传感器检测点接触发出一声“噼”的声音后，轴移动自动停止， Z 方向数值自动记录在“刀具设定”的 Z 数值中（见图 2-5-8）。其他刀具的对刀按照相同的方法操作。

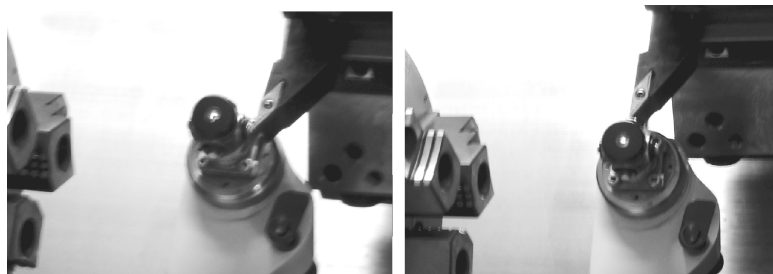


图 2-5-8 对刀操作

六、光学对刀仪对刀

图 2-5-9 是一种比较典型的光学对刀仪。对刀时，将刀具连同刀架一起紧固在对刀刀具台上，摇动 X 方向和 Z 方向进给手柄，使移动部件载着投影放大镜沿着两个方向移动，使假想刀尖点与放大镜中的十字线交点重合，如图 2-5-10 所示。此时，通过 X 方向和 Z 方向的微型读数器分别读出的 X 向和 Z 向刻度值，就是这把刀的对刀数值，只要把对刀数值输入到相应的刀补号中即可。

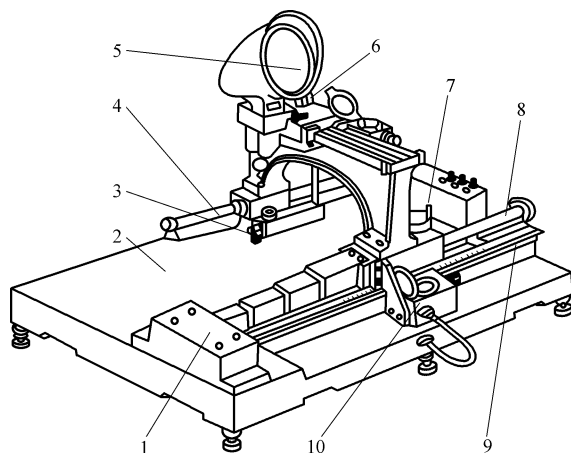


图 2-5-9 光学对刀仪

- 1—刀具台安装座 2—底座 3—光源 4—轨道 5—投影放大镜 6— X 向进给手柄
7— Z 向进给手柄 8—轨道 9—刻度尺 10—微型读数器

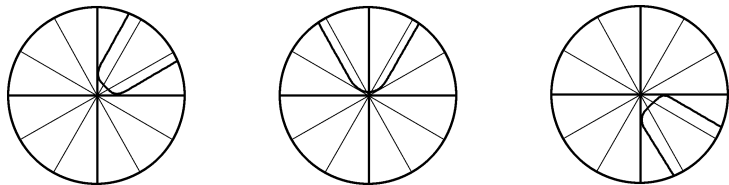


图 2-5-10 对刀过程

七、输入刀具补偿参数

(1) 输入磨损量补偿参数 (OFFSET/WEAR)

- 1) 按 **MENU** **OFFSET** 键进入参数设定页面。
- 2) 用 **PAGE** **↓**或**↑**键选择刀具补偿参数页面，如图 2-5-11 所示。
- 3) 用 **CURSOR** **↓**或**↑**键选择补偿参数编号。
- 4) 输入补偿值到输入域。
- 5) 按 **INPUT** 键，把输入域中间的补偿值输入到光标所在行。

(2) 输入形状补偿参数 (OFFSET/GEOMETRY)

- 1) 按 **MENU** **OFFSET** 键进入参数设定页面。
- 2) 用 **PAGE** **↓**或**↑**键选择补偿参数页面，如图 2-5-12 所示。

OFFSET / WEAR					00001	N 0370
NO.	X	Z	R	T		
W 01	0.000	0.000	0.000	0		
W 02	0.000	0.000	0.000	0		
W 03	0.000	0.000	0.000	0		
W 04	0.000	0.000	0.000	0		
W 05	0.000	0.000	0.000	0		
W 06	0.000	0.000	0.000	0		
W 07	0.000	0.000	0.000	0		
W 08	0.000	0.000	0.000	0		
Actual Position(RELATIVE)						
U	304.301	W	201.017			
		S	0	1		
ADRS			AUTO			
[WEAR]	[GEOM]	[W.SHIFT]	[MACRO]	[		]

图 2-5-11 刀具补偿参数页面

OFFSET / GEOMETRY					00001	N 0370
NO.	X	Z	R	T		
G 01	0.000	0.000	0.000	0		
G 02	0.000	0.000	0.000	0		
G 03	0.000	0.000	0.000	0		
G 04	0.000	0.000	0.000	0		
G 05	0.000	0.000	0.000	0		
G 06	0.000	0.000	0.000	0		
G 07	0.000	0.000	0.000	0		
G 08	0.000	0.000	0.000	0		
Actual Position(RELATIVE)						
U	304.301	W	201.017			
		S	0	1		
ADRS			AUTO			
[WEAR]	[GEOM]	[W.SHIFT]	[MACRO]	[		]

图 2-5-12 补偿参数页面

- 3) 用 **CURSOR** **↓**或**↑**键选择补偿参数编号。
- 4) 输入补偿值到输入域，方法参考“输入数据”操作。
- 5) 按 **INPUT** 键，把输入域中间的补偿值输入到所指定的位置。

第三节 数控车床刀具补偿的运用

一、刀具半径补偿的基本概念

在数控加工过程中,编程人员编程时是按零件轮廓进行编程的。由于刀具总有一定的半径(如车刀刀尖圆弧半径、铣刀半径、钼丝的半径等),刀具中心运动的轨迹并不等于所需加工零件的实际轮廓,而是偏移轮廓一个刀具半径值。在进行外轮廓加工时,要想获得理想的轮廓,就要使刀具中心偏移零件的外轮廓表面一个刀具半径值,加工内轮廓时,使刀具中心偏移零件内轮廓表面一个半径值(见图2-5-13),这种偏移习惯上称为刀具半径补偿。

现代 CNC 系统都具备较完善的刀具半径补偿功能。刀具半径补偿通常不是程序编制人员完成的,程序编制人员只是按零件的加工轮廓编制程序,实际的刀具半径补偿是在 CNC 系统内部由计算机自动完成的。在图2-5-14中,粗实线为所需加工的零件轮廓,虚线为刀具中心轨迹。根据 ISO 标准,当刀具中心轨迹在编程轨迹(零件轮廓)前进方向左侧时,称为左刀具补偿(简称左刀补),用 G41 表示;反之,称为右刀补,用 G42 表示;当不需要进行刀具半径补偿时,用 G40 表示。

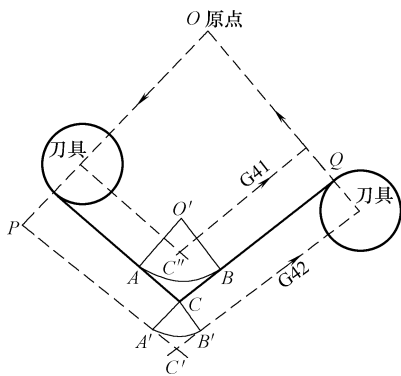


图 2-5-13 刀具半径补偿

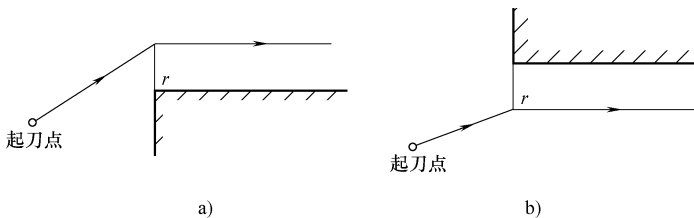


图 2-5-14 建立刀具补偿

a) 建立刀具半径左补偿 G41 b) 建立刀具半径右补偿 G42

在实际轮廓加工过程中,刀具半径补偿执行过程一般可分为三步:

(1) 刀具补偿建立 刀具从原点接近工件,刀具中心轨迹由 G41 或 G42 确定,在原来的程序轨迹基础上伸长或缩短一个刀具半径值,即刀具中心从与编程轨迹重合过渡到与编程轨迹偏离一个刀具半径。

(2) 刀具补偿进行 一旦建立了刀具补偿状态则一直维持该状态, 除非撤销刀具补偿。在刀具补偿进行期间, 刀具中心轨迹始终偏离编程轨迹一个刀具半径值的距离。

(3) 刀具补偿撤销 刀具撤离工件, 回到原点。和建立刀具补偿时一样, 刀具中心轨迹也要比编程轨迹伸长或缩短一个刀具半径值的距离, 即刀具中心轨迹从与编程轨迹相距一个刀具半径值过渡到与编程轨迹重合。刀具补偿撤销用 G40 指令。

在运用刀具半径补偿时要特别注意, 刀具半径补偿仅在指定的二维坐标平面内进行。而平面的指定由 G 代码 G17 (XY 平面)、G18 (YZ 平面) 和 G19 (ZX 平面) 表示。刀具半径值则通过刀具号来指定。

二、C 功能刀尖圆弧半径补偿

最初设想的刀具半径补偿即 B 刀具补偿, 只能计算出直线或圆弧终点的刀具中心值, 而对于两个程序段之间的过渡在刀补后可能出现的一些特殊情况没有加以考虑。实际上, 当程序编制人员按零件的轮廓编制程序时, 各程序段之间是连续过渡的, 没有间断点, 也没有重合段。但是, 在进行了 B 刀具半径补偿后, 在两个程序段之间的刀具中心轨迹就可能会出现间断点或交叉点。如图 2-5-13 所示, 粗线为编程轮廓, 当加工内轮廓时, 会出现交叉点 C'' 。对于只有 B 刀具半径补偿的数控系统, 编程人员必须事先估计出在进行刀具补偿后可能出现的间断点和交叉点的情况, 并进行人为的处理。如遇到间断点时, 就要在两个间断点之间增加下个半径为刀具半径的过渡圆弧段 $A'B'$ 。遇到交叉点时, 事先在两程序段之间增加一个过渡圆弧段 AB , 圆弧的半径必须大于所使用的刀具的半径。显然, 这种仅有 B 刀具补偿功能的数控系统对编程人员来说, 连接段的程序编制是很烦琐的。

随着 CNC 技术的发展, 系统工作方式、运算速度都有了很大的改进, 存储容量有了很大的增加, 采用直线或圆弧过渡, 直接求出刀具中心轨迹交点的刀具半径补偿方法已经能够实现了, 这种方法被称为 C 功能刀具半径补偿 (简称 C 补偿)。

一般基本刀具补偿方法 B 刀具补偿, 对编程限制的主要原因是在确定刀具中心轨迹时, 采用了读一段、算一段、执行一段的控制方法。这样, 就无法预计到由于刀具半径所造成的下一段加工轨迹对本段加工轨迹的影响。于是, 对于给定的加工轨迹来说, 为了避免刀具干涉, 首先就要合理地选择刀具的半径, 以及在相邻加工轨迹转接处选用恰当的过渡圆弧来衔接, 然后作出合理的处理。为了解决下一段加工轨迹对本段加工轨迹的影响, 接下来数控系统执行程序过程中在计算完本段轨迹后, 提前将下一段程序读入, 然后根据它们之间转接的具体情况, 再对本段的轨迹作适当的修正, 以得到正确的本段加工轨迹, 这就是 C 刀具半径补偿运用的方式和意义。

图 2-5-15a 是普通 NC 系统的加工方法, 程序轨迹作为输入数据送到工作寄存区 AS 后, 由运算器进行刀具补偿计算, 运算结果送到输出寄存区 OS, 直接作为伺服系统的控制信号。图 2-5-15b 是改进后的 NC 系统的工作方法。与图 a 相比, 增加了一组数据输入的缓冲寄存区 BS, 节省了数据读入时间。往往是 AS 中存放着正在加工的程序段信息, 而 BS 中已经存放了下一段所要加工的信息。图 2-5-15c 中是在 CNC 系统中采用 C 刀具补偿方法的原理框图。与从前方法不同的是, CNC 装置内部又设置了一个刀具补偿缓冲区 CS。零件程序的输入参数在 BS、CS 和 AS 中的存放格式是完全一样的。

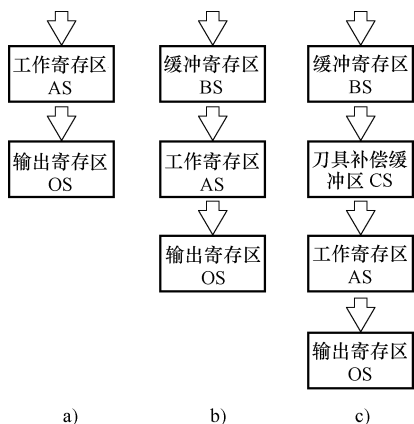


图 2-5-15 数控系统执行工作流程简图

a) 一般方法 b) 改进后方法
c) 采用 C 刀具补偿的方法

三、刀具半径补偿在程序段间交接情况

在普通的 CNC 装置中, 实际所能控制的轮廓轨迹只有直线段的圆弧。随着前后两段编程轨迹的连接方式不同, 相应有以下几种转接方式 (见图 2-5-16 ~ 图 2-5-18): 直线与直线转接, 直线与圆弧转接, 圆弧与圆弧转接。根据两段程序

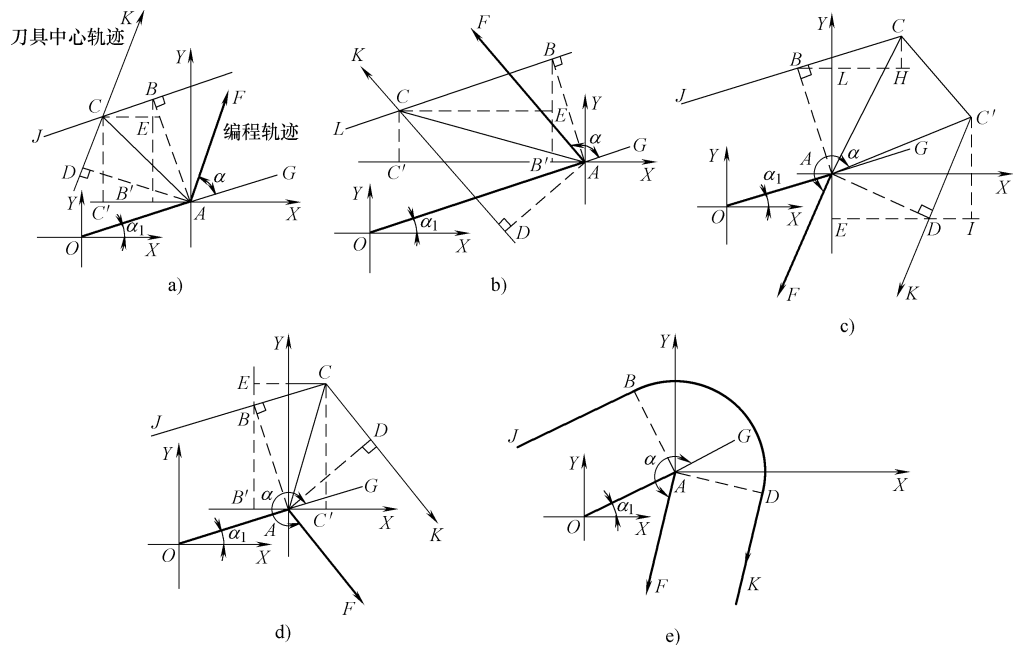


图 2-5-16 G41 直线与直线转接

a)、b) 缩短型 c)、e) 插入型 d) 伸长型

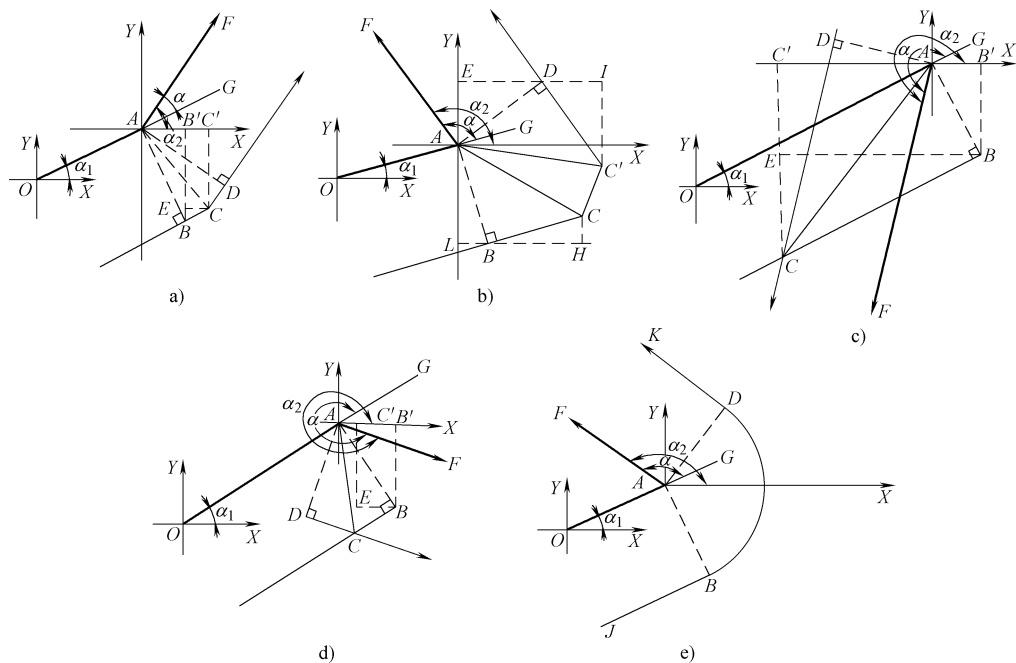


图 2-5-17 G42 直线与直线转接

a) 伸长型 b)、e) 插入型 c)、d) 缩短型

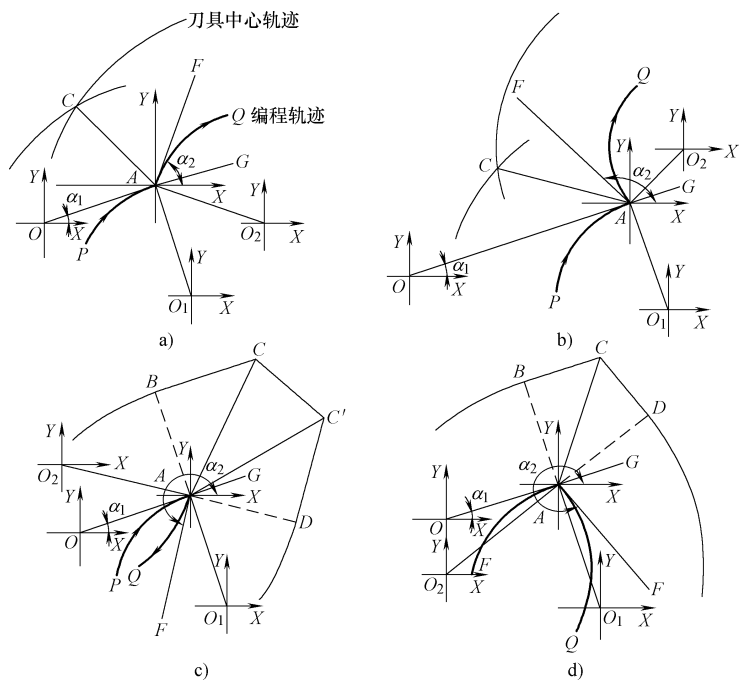


图 2-5-18 圆弧与圆弧转接情况

a)、b) 缩短型 c) 插入型 d) 伸长型

轨迹的矢量夹角 α 和刀具补偿方向的不同,又可以有以下几种转接过渡方式:伸长型、缩短型、插入型、直线过渡型和圆弧过渡型。

四、数控车床进行刀尖圆弧半径补偿

1. 刀尖圆弧半径补偿的意义

作为数控车床加工所使用的刀具,不论是制造或刃磨得如何锋利,在其刀尖部分都会存在一个刀尖圆弧,它的半径值是个难以准确测量的值,如图 2-5-19 所示。

编程时,若以假想刀尖位置为切削点,则编程很简单。但是在实际加工过程中,由于刀具都存在刀尖圆弧,当车削圆柱面的外径、内径或端面时,刀尖圆弧的大小并不影响加工精度;但当加工倒角、圆锥面、圆弧及非圆曲面时,由于是两轴以上的联动来完成,这时将对加工精度产生影响。以假想刀尖位置编程时,会在加工中产生过切削或欠切削现象,如图 2-5-20 所示。

通过上述的分析,不难看出数控车床的刀具在加工两轴联动控制的轨迹时,需要进行刀具半径补偿,就是使刀具运动的轨迹不是理想刀尖,而是刀尖上切削刃圆弧中心位置的运动轨迹。编程人员直接按工件轮廓编程,数控系统自动完成刀尖轨迹的偏置,即执行刀具半径补偿,刀具自动偏离工件轮廓一个刀尖圆弧半径值,使切削刃与工件轮廓始终保持相切,从而加工出所需要的工件轮廓。在进行数控车床编程和加工过程中,只有对由于刀尖圆弧产生的误差进行补偿,才能加工出高精度的零件。图 2-5-21 所示为加工圆锥时产生的加工误差。

如果按假想刀尖编程加工半径为 R 的凸凹圆弧 AB 时(见图 2-5-22 中的实线轮廓),应按图中虚线参数进行编程,但要求在加工前通过刀补开关给 X 方向和 Z 方向一个补偿量 r 。

2. 在数控车床上进行刀尖圆弧半径补偿

(1) 使用半径补偿指令 消除车刀刀尖圆弧半径所引起的加工误差的方法就是进行合理的刀尖圆弧半径补偿。它的前提条件是:要确定刀尖圆弧半径。由于在数控车削中一般都使用可转位数控专用刀片,每种刀片的刀尖圆弧半径是一个定值,所以选定了刀片的型号,则对应刀片的刀尖圆弧半径即可确定。

当机床具备刀具半径补偿功能 G41、G42 时,就可运用刀具半径补偿功能消除加工误差了。在实际加工中刀尖圆弧半径补偿依靠三个指令来实现:G41(刀具半径左补偿指令)、G42(刀具半径右补偿指令)和 G40(解除刀具半径指令)。图 2-5-23 所示为根据刀具与工件的相对位置及刀具的运动方向选用 G41 或 G42 指令。

刀具半径补偿的过程分为三步:①刀补的建立,刀具中心从与编程轨迹重合过渡到与编程轨迹偏离一个偏置量的过程;②刀补进行,执行有 G41、G42 指令的程序段后,刀具中心始终与编程轨迹相距一个偏置量;③刀补的取消,刀具离开工件,刀具中心轨迹要过渡到与编程重合的过程。图 2-5-24 所示为刀补的建立与取消的过程。

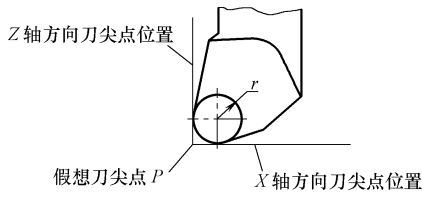


图 2-5-19 假想刀尖点

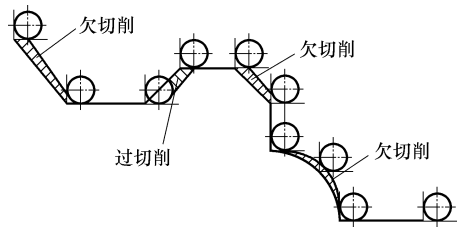


图 2-5-20 过切削与欠切削

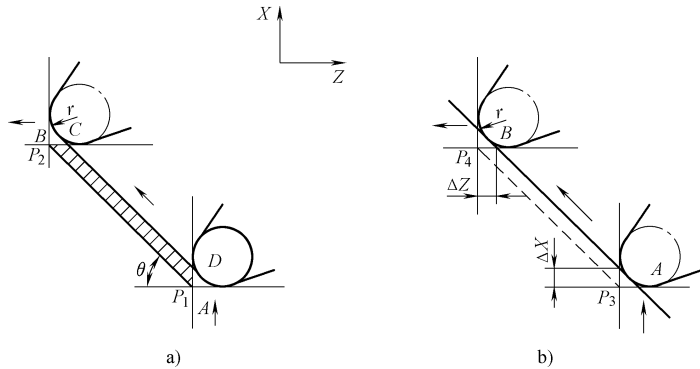


图 2-5-21 加工圆锥误差

a) 加工锥面产生的欠切削现象 b) 加入补偿后

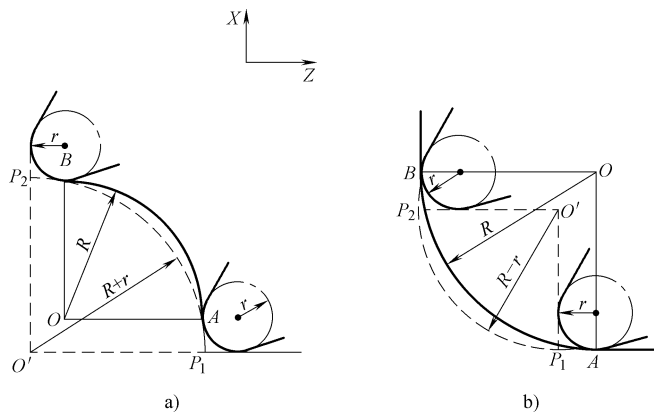


图 2-5-22 加工凸凹圆弧时的误差补偿

在使用刀具半径补偿编程时应注意：G41、G42 不能重复使用，即在程序中前面有了 G41 或 G42 指令之后，不能再直接使用 G42 或 G41 指令。若想使用，则必须先用 G40 指令解除原补偿状态后，再使用 G41 或 G42，否则补偿就不正常了。

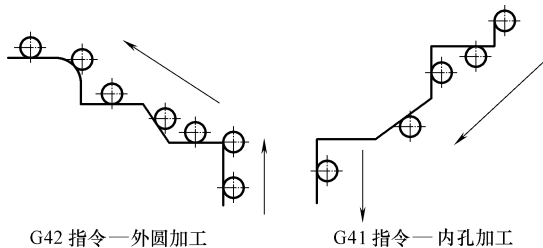


图 2-5-23 刀具半径补偿指令

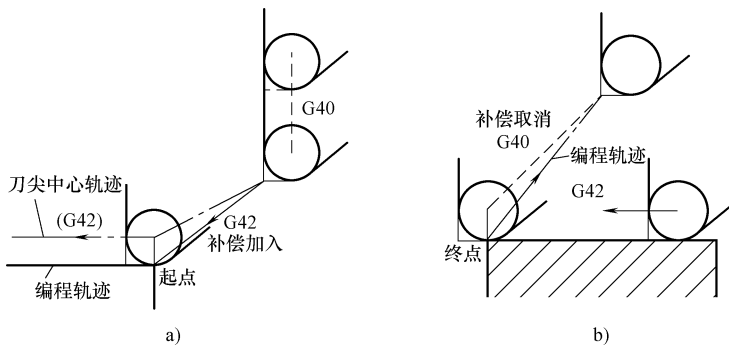


图 2-5-24 刀具半径补偿的建立与取消

(2) 确定正确的刀位点 在数控车床上加工圆锥、圆弧轮廓时，只是单纯地应用刀尖圆弧半径补偿指令进行补偿是不充分的，还应根据刀具使用的具体情况，选择合理的刀位点，并结合刀尖圆弧半径补偿指令进行补偿，才可以消除刀尖圆弧半径引起的加工误差。

在数控车床上进行刀尖圆弧半径补偿，关键是要对所使用的刀具进行假想刀尖方位的确定。车刀假想刀尖与相对刀尖圆弧中心的方位和刀具移动方向有关，它直接影响刀尖圆弧半径补偿的计算结果。图 2-5-25 所示为车刀假想刀尖的刀位点及代码。

(3) 刀具补偿值的确定 车刀刀具补偿包括刀具位置补偿和刀尖圆弧半径补偿两部分，刀具代码 T 中的补偿号对应的存储单元（即刀具补偿表）中，应当存放如下数据：X 轴、Z 轴的位置补偿值，刀尖圆弧半径值和假想刀尖方位（刀位点）。操作时，按以下步骤进行：

1) 确定车刀 X 轴和 Z 轴的位置补偿值（对刀）。如果数控车床配置了标准刀

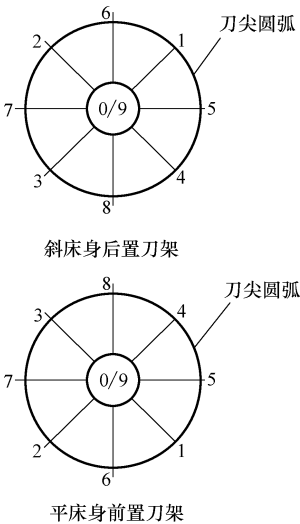


图 2-5-25 车刀假想刀尖的刀位点

架和对刀仪，在编程时可按照刀架中心编程，即将刀架中心设置在起始点，从该点到假想刀尖的距离设置为位置补偿值，该位置补偿值可用对刀进行测量。如果数控车床配置的是生产厂家所特供的特殊刀架，则刀具位置补偿值与刀杆在刀架上的安装位置有关，无法使用对刀仪，因此，必须采用分别试切工件外圆和端面的方法来确定刀具位置补偿值。

- 2) 确定刀尖圆弧半径（刀具列表查询）。
 - 3) 确定刀尖方位（假想刀位点）。
 - 4) 把上述的一组数据输入到刀具补偿表中（OFFSET），如图 2-5-26 所示。
- 特别要强调的是：刀具号一定要与刀具补偿号一一对应。

应用刀具半径补偿指令加工时，刀具的中心始终与工件轮廓相距一个刀具半径距离。当刀具磨损或刀具重磨后，刀具半径变小，只需在刀具补偿值中输入改变后的刀具半径，而不必修改程序。在采用同一把半径为 R 的刀具，并用同一个程序进行粗、精加工时，设精加工余量为 Δ ，则粗加工时设置的刀具半径补偿量为 $R + \Delta$ ，精加工时设置的刀具半径补偿量为 R ，就能在粗加工后留下精加工余量 Δ ，然后，在精加工时完成切削。

OFFSET 01		O0005 N0040	
NO.	X	Z	R T
01	025.036	002.006	000.400 1
02	024.052	003.500	000.800 2
03	015.036	004.082	001.000 0
04	010.030	002.006	000.602 4
05	002.030	002.400	000.350 3
06	012.450	000.220	001.008 5
07	004.000	000.506	000.300 6
ACTUAL POSITION(RELATIVE)			
U	22.400	W	-10.000
W	LSK		

图 2-5-26 刀具参数偏置表

数控车床的保养与润滑

第一节 数控车床的保养与维护

数控车床集机、电、液于一身，具有技术密集和知识密集的特点，是一种自动化程度高、结构复杂且又昂贵的先进加工设备。为了充分发挥其效益，减少故障的发生，必须做好保养维护工作，所以要求数控车床维护人员不仅要有机械、加工工艺以及液压气动方面的知识，也要具备电子计算机、自动控制、驱动及测量技术等知识，这样才能全面了解、掌握数控车床，及时搞好维护工作。

车床在使用一段时间后，两个相互接触的零件间产生磨损，其工作性能逐渐受到影响，这时，就应对数控车床的一些部件进行适当的调整、维护，使车床恢复到正常的技术状态。数控车床的日常保养与一级保养是由操作人员完成的，二级保养是由操作人员与维修人员共同完成的，其保养维护周期及每次保养维护的时间还应该根据数控车床结构、粗精加工等不同情况合理确定，并经常结合实际加以调整。

数控机床保养维护的主要内容包括：①对机床的不适宜保养部位及重点部位进行拆卸、彻底清洗、擦拭外表和内部；②检查解体部位的零件，对磨损零件进行修复，对难以恢复其应有精度的零件，应予以更换；③调整主轴轴承、离合器、链轮链条、丝杠螺母、导轨镶条的间隙，调整传动带的松紧程度，紧固松动部件；④清洗过滤器、油毡、油线、油标等，清洗冷却装置，修理或更换水管接头，消除润滑系统和冷却装置中的渗漏现象，增添润滑油，更换切削液；⑤清洗导轨与润滑面，清除毛刺及修复划伤表面；⑥检查电气装置，更换损坏元件；⑦检查安全装置是否可靠，并进行调整。

一、数控车床的日常保养与维护

数控操作人员应该每日对数控车床进行相应的保养与维护。

- 1) 检查润滑机构各油箱的油量是否正常, 开机检查润滑系统是否能够正常运转。
- 2) 检查液压机构各油箱的油量是否正常, 开机检查液压系统是否能够正常运转。
- 3) 检查冷却水箱的切削液量是否正常, 开机检查切削液系统是否能够正常运转。
- 4) 开机检查数控系统是否正常, 各风扇排屑器运转是否正常, 并检查各压力表数值是否正常。
- 5) 清除机床内各导轨的铁屑及杂物, 并检查其表面是否有划痕。
- 6) 开机后必须空运转一定时间, 检查其运转是否正常; 完成一天加工任务后, 关闭机床数控系统, 关闭机床电源, 并清理工作地点。

二、数控车床的一级保养与维护

数控车床的一级保养与维护工作做得好坏, 直接影响到零件加工质量的好坏与生产效率的高低。为了保证数控车床精度与使用寿命, 通常当数控车床运行500h (约3个月) 后, 需要进行一级保养。一级保养工作基本上由操作人员完成, 电工参与少量保养工作。

- 1) 擦拭机床外表, 包括罩、盖、附件, 保证无油污、无锈蚀、无铁屑及杂物, 保证内外清洁。
- 2) 清理回转刀架、尾座上的铁屑, 检查其运转是否正常。
- 3) 检查机床上是否有螺钉松动, 各油箱、管路、油标连接是否稳固, 若有及时修补。
- 4) 检查主轴传动带、X轴传动带、Z轴传动带的磨损情况与张紧力。
- 5) 检查液压系统及该系统下的部件 (液压泵、液压马达) 运转是否正常, 运转时是否有异响, 各压力表是否正常, 检查并根据需要更换过滤器。
- 6) 检查冷却系统及该系统下的部件 (冷却泵、冷却马达) 运转是否正常, 运转时是否有异响。
- 7) 检查排屑系统及该系统下的部件 (排屑器、排屑电动机) 运转是否正常, 运转时是否有异响。
- 8) 检查润滑系统运转是否正常, 保证各油路畅通, 检查并根据需要更换过滤器; 检查各出油点是否正常出油对机床 (导轨、尾座) 进行润滑。
- 9) 检查所有油箱及冷却水箱, 根据需要进行补充, 根据需要对机床各注油点注入润滑油脂, 保证油箱及各油标、油窗明亮。夏天注意根据要求在切削液中加入防锈剂。
- 10) 检查数控系统启动后是否正常, 机床各轴及回转刀架的运动是否正常。
- 11) 擦拭电器箱, 保证内外清洁, 检查各线路是否漏电, 各触点接触是否良

好，检查限位装置与接地是否安全可靠。

备注：第 11 项必须在电工指导下来完成。进行一级保养工作，事先应做好充分的准备工作，如准备好拆装的工具、清洗装置、润滑油料、放置机件的盘子和必要的备件等；保养应有条不紊地进行，拆下的机件应成组合安放，不允许乱放，做到文明操作。

三、数控车床的二级保养

数控车床运行 5000h 进行二级保养，保养工作由维修人员与操作人员共同完成，在完成一级保养内容的同时，做好细致的拆、检、维修、更换内容，并对易损件进行测绘、生产，作为备用零件使用。

- 1) 完成一级保养全部内容。
- 2) 检查各伺服电动机、主轴电动机的运转情况，根据需要进行维修或更换。
- 3) 检查并调整机床传动部件，将磨损件更换。
- 4) 检查机床检测系统，如各种编码器、光栅尺、同步感应器、磁尺、旋转变压器等。检查检测元件连接是否松动，是否被油液或灰尘污染。
- 5) 更换或维护主轴，以及 X 轴、Z 轴进给部分的轴承。更换时，一定要把轴承清洗干净，重装轴承后，必须检查各轴的跳动是否满足精度要求。
- 6) 检查维修各导轨面，要求无油垢、毛刺，并调整间隙。
- 7) 检查并调整回转刀架主轴及传动齿轮的啮合间隙。
- 8) 检查并调整传动系统的各零部件，并对磨损件进行更换。
- 9) 检查并调整平衡装置及安全防护装置，保证安全可靠。
- 10) 检查并调整液压、润滑、冷却系统，并根据需要更换磨损件。
- 11) 校正机床水平，检查、调整各运动精度与几何精度，使精度符合设备完好标准要求；必须恢复机床出厂精度。

备注：电器元件检查与调整必须由专业电工完成操作。进行二级保养工作，事先应做好充分的准备工作，如准备好拆装的工具、清洗装置、润滑油料、放置机件的盘子和必要的备件等；保养应有条不紊地进行，拆下的机件应成组合安放，不允许乱放，做到文明操作。

第二节 数控车床的润滑

数控车床上的导轨与床鞍、齿轮与齿轮、轴承滚珠（滚柱）与滚道以及其他接触表面在相对运动时，都存在着摩擦现象。摩擦会造成机件逐渐磨损，多损耗动力，又使接触面发热，甚至损坏。为了减少相对运动之间的摩擦阻力，保持车床的精度和传动效率，延长车床使用寿命，最好的办法就是对运动表面进行润滑。由于油分子有一定特性，它能吸附在金属表面上，形成一层极薄而又牢固的油膜。

在不同条件下，这层油膜具有不同的“承载能力”，能将两个金属面部分甚至全部地隔开，使金属之间或与其他物体之间的摩擦变成油分子之间的接触（内摩擦），这就大大改善了运动条件。

数控车床润滑的作用：

1) 减少摩擦。两个机械零件接触表面在作相对运动时，存在摩擦现象，摩擦会使零件磨损阻力增大，甚至使接触表面发热而损坏，以润滑油脂加入摩擦接触表面后，可使摩擦因数降低，从而达到减少摩擦的作用。

2) 减少磨损。润滑油脂在两个相对运动零件的表面形成一层油膜，避免了金属和金属的直接接触，减少磨损。

3) 降低温度。摩擦所损耗的功全部转变为热能，特别是润滑不充分的时候，会产生大量的热，温度很快升高，甚至发生熔融，润滑油可以把产生的热量带走，使润滑表面的温度降低。

4) 防止生锈。润滑油涂在表面，形成一层保护膜，防止锈蚀。

5) 形成密封。润滑脂具有防止润滑剂漏出和杂质渗入的密封作用。

一、数控车床的润滑系统

数控车床的润滑系统主要包括机床导轨、传动齿轮、滚珠丝杠和主轴箱等，其形式有电动间隙润滑泵润滑和定量式集中润滑泵润滑等。其中，电动间隙润滑泵用得较多，其自动润滑的时间和每次泵油量可根据润滑要求进行调整或用参数设定。给数控机床润滑时，机床必须断电。数控车床的润滑系统一般在数控系统启动后正常运行，所以开机后需要注意数控系统是否有润滑报警信息，以确定润滑系统是否正常启动并运行。在外部设施检查时，通过检查各油箱的润滑油消耗量，也可确定该润滑系统是否正常工作。

二、数控车床需要润滑的部位

目前数控车床一般通过向注油块注入润滑油脂来完成对各轴的润滑。润滑系统通过注油块对滚珠丝杠、直线导轨、尾座顶尖及滑道进行润滑。如果数控车床使用频繁，润滑的频率根据需求加大。数控车床的运转情况很大程度上依赖于数控车床的润滑状况，工作强度大，必须经常检查机床的润滑状况。

润滑油脂用于对线轨、X 轴（溜板）和 Z 轴（三脚架）的丝杠进行润滑。数控车床每工作 1000h，如果在此时不对设备注油，数控系统显示面板将显示润滑报警信息，控制系统不会让机床停止运行，但是加工循环将被禁止。当补充润滑油脂后，按下复位（Reset）和进给停止（Feed Hold）按钮，清除掉系统内的润滑报警信息。使用油脂润滑时通过油脂枪注入润滑油脂，操作时要确保空气不会通过油脂枪进入润滑系统。完成注油后，在加工前，要在 Jog 模式下，以机床最高速度的 50% 让各轴运行 30min，保证充分润滑。尾座及 Z 轴防护罩的润滑方式同各轴的

润滑方式。

数控车床润滑系统也有通过润滑油来完成机床各部的润滑方式，该装置主要由润滑泵、润滑电动机、油路及润滑油箱组成。数控系统控制其润滑油自动润滑只需要的部位，操作人员只需定期加入润滑油即可，以满足使用需要。

第三篇 典型案例

案例 1

注塑机活塞杆加工

一、分析零件图

活塞杆（见图 3-1-1）是某企业 SZ-125 注塑机上的重要零件，每台使用数量为 4 件，该产品年产量 200 台，备品率 10%，机械加工废品率大约为 1.5%。

该零件属于较长的轴类零件，零件材料为 45 钢，结构比较复杂，带有特殊形状的外沟槽，轴上有 6 级（GB/T 4458.4-2003）精度双线左旋螺纹，有垂直度和同轴度要求，几何公差均为 7 级以上，并要求进行调质处理，重要表面粗糙度为 $Ra = 1.6\mu\text{m}$ 。

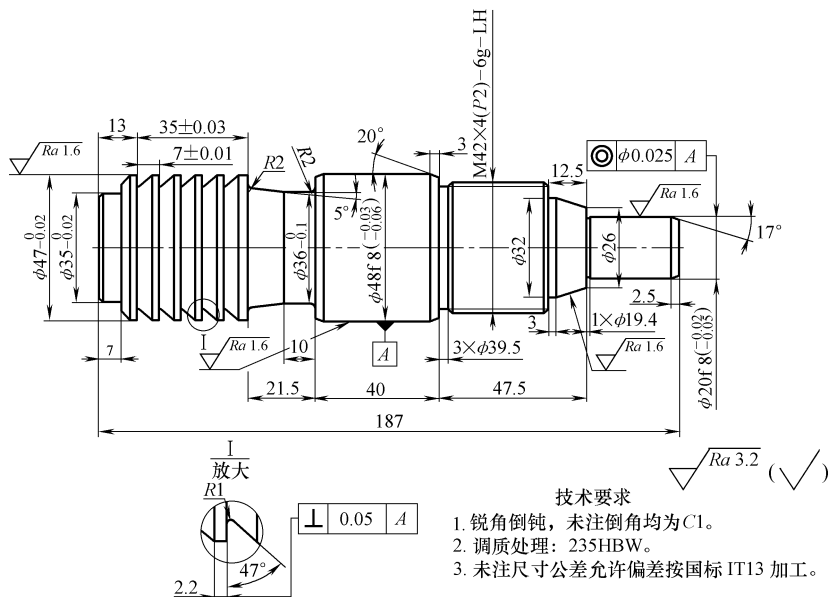


图 3-1-1 注塑机活塞杆加工

二、工艺性分析

1. 机床、夹具选择

通过对产品零件图分析，考虑到是批量加工以及经济性，应选用四刀位以上的经济型数控车床，选用通用夹具（即自定心卡盘），采用一夹一顶方法装夹较为合适；也可根据实际情况选用全功能数控车床，全功能数控车床采用自定心液压高速动力卡盘夹持工件，轴类工件还可使用液压可调自动尾座顶尖支持工件。数控车床主轴转速较高，为便于工件夹紧，多采用液压高速动力卡盘。这种卡盘在生产厂已通过了严格平衡检验，具有高转速（极限转速可达8000 r/min 以上）、高夹紧力（最大推拉力为 2000 ~ 8000N）、高精度、调爪方便、通孔、使用寿命长等优点。通过调整液压缸的压力，可改变卡盘的夹紧力，以满足夹持各种薄壁和易变形工件的特殊需要。为了保证工件二次装夹定位精度，可使用软爪夹持工件，软爪的定位弧面需要在装夹前现场车制完成，可获得理想的夹持精度。在加工细长轴类零件时，为减少加工时的受力变形，提高加工精度，以及在加工带孔轴类工件内孔时，可采用液压自动定心中心架，其定心精度可达 0.03mm。

2. 刀具选择

数控刀具要求精度高，刚性好，装夹调整方便，切削性能好、寿命长。合理选用既能提高加工效率，又能提高产品质量。本案例根据工件材料，刀具选用机夹可转位车刀、涂层刀片即可，刀具种类见表 3-1-1。

表 3-1-1 活塞杆数控加工刀具卡片

产品名称或代号		注塑机	零件名称		注塑机活塞杆	零件图号	Lathe-01	
序号	刀具号	刀具名称	数量	加工表面		刀尖半径/mm	刀具规格（长/mm） ×（宽/mm）	
1	T01	55°偏刀（见图 3-1-2）	1	粗车端面、外圆		0.40	25 × 25	
2	T02	A3 型中心钻	1	钻 φ3mm 中心孔				
3	T03	35°偏刀（见图 3-1-5）	1	精车刀		0.20	25 × 25	
4	T04	切槽刀（刀宽 1mm）， 见图 3-1-4	1	切槽			20 × 20	
5	T05	切槽刀（刀宽 3mm）	1	切槽		0.40	20 × 20	
6	T06	切槽刀（刀宽 5mm）	1	切槽		0.20	20 × 20	
7	T07	60°外螺纹车刀 （见图 3-1-3）	1	车 M42 螺纹			25 × 25	
8	T08	成形切刀	1	车成形表面			25 × 25	
编制	× × ×		审核	× × ×		批准	× ×	× × 年 × 月 × 日
							共 1 页	第 1 页



图 3-1-2 55°偏刀

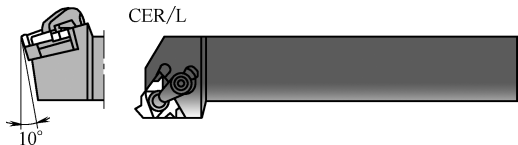


图 3-1-3 60°外螺纹车刀



图3-1-4 切槽刀

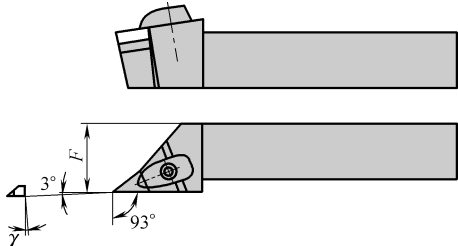


图 3-1-5 35°偏刀

三、加工工艺路线

1. 确定加工顺序及进给路线

加工顺序的确定按由内到外、由粗到精、由近到远（先尾座端）的原则确定，在一次装夹中尽可能加工出较多的工件表面。结合本零件的结构特征，可先加工外圆各表面，然后加工外轮廓表面。由于该零件为小批量生产，进给路线设计不必考虑最短进给路线或最短空行程路线，外轮廓表面车削进给路线可沿零件轮廓顺序进行。

2. 确定切削用量

根据被加工表面质量要求、刀具材料和工件材料，参考切削用量手册或有关资料选取切削速度与进给量，计算出主轴转速与每转进给量，完善到表 3-1-2 工序卡中。

背吃刀量的选择因粗、精加工而有所不同。粗加工时，在工艺系统刚性和机床功率允许的情况下，尽可能取较大的背吃刀量，以减少进给次数；精加工时，为保证零件表面粗糙度要求，背吃刀量一般取 0.15 ~ 0.4mm 较为合适。

四、加工技巧与注意事项

1. 程序编制与调试

(1) 数控车削编程要点

1) 灵活运用绝对值、增量值编程。

表 3-1-2 活塞杆数控加工工序卡

厂名		产品名称或代号		零件名称		零件图号	
				活塞杆		Le-01	
工序号	程序编号	夹具名称		使用设备		车间	
0012	Le-01	自定心卡盘		CKA6150			
工步号	工步内容	刀具号	刀具规格 (长/mm) × (宽/mm)	主轴转速/ (r/min)	进给速度/ (mm/r)	背吃刀量/ mm	备注
1	车右端面	T01	25×25	800	0.30	1	手动
2	钻 A3 中心孔，一夹 (夹左端) 一顶加工	T02		1000		3	手动
3	粗车外圆轮廓，留 精加工余量 0.8mm	T01	25×25	800	0.30	1.5	手动
4	精车外圆轮廓，保 证尺寸和几何精度	T03	25×25	1500	0.20	0.8	自动
5	切槽 1×φ19.4mm	T04	20×20	600	0.05	1	自动
6	切槽 3×φ39.5mm	T05	20×20	600	0.10	3	自动
7	切槽 10mm	T06	20×20	600	0.10	5	自动
8	精车槽底轮廓	T03	25×25	600	0.20	1	自动
9	车 M42 双线螺纹	T07	25×25	600		1	自动
10	掉头装夹 φ48mm 外 圆，取总长	T01	25×25	800	0.25	0.1	自动
11	粗车左端外轮廓	T01	25×25	800	0.30	1.5	自动
12	找正，精车左端外 轮廓	T03	25×25	1500	0.15	0.5	自动
13	车特形槽	T08	25×25	600	0.08	0.1	自动
编制	×××	审核	×××	批准	×××	××年×月×日	共 1 页 第 1 页

- 2) 由于有圆锥面的加工，加工中必须采用刀尖圆弧半径补偿。
- 3) 特形槽采用成形刀直进法。
- (2) 指令选用
- 1) 内（外）径粗车复合循环 G71。
- 2) 精加工采用 G70 循环指令，为了保证精度，可在刀具磨耗中预留精加工余量。
- 3) 外径切槽采用 G75 循环指令。
- 4) 特形槽加工可采用调用子程序的方式完成。
- 5) 螺纹切削采用 G92 循环指令，主轴正转，反向进给完成。
- 多线螺纹程序段格式：G92 X (U) _ Z (W) _ Q_ F_ ；
- 由于螺纹旋向为左旋，且加工时螺纹左端距轴肩距离较短，若采用轴向分线

进刀距离过短，故应采用圆周分线法编程加工。Q 值为圆周分线单线转过角度，单位以微分计，如双线螺纹分线角度 Q180000。

2. 机床调试与对刀

(1) 机床调整

- 1) 开机后首先必须执行手动返回参考点。
- 2) 加工前机床进行初始化，MDI 输入“G99 G97 G21 G40”。
- 3) 在调试加工程序进行试切时，首先选择比较小的进给倍率，如 5%、10% 等，首次运行程序要在单段方式下运行。
- 4) 零件掉头加工前必须对软爪进行再加工。

(2) 对刀 对刀可采用刀具形状补偿法、G54 设置机械坐标系法和 G50 设置当前坐标系法，必须注意的是采用 G50 时，程序的起点必须与 G50 一致。

五、零件检测

1. 加工中的检验

自动测量装置，作为辅助装置安装在机床上。这种检验方式能在不影响加工的情况下，根据测量结果，主动地控制机床的工作过程，如改变进给量、自动补偿刀具磨损、自动退刀、停车等，使之适应加工条件的变化，防止产生废品，故又称为主动检验。主动检验属在线检测，即在设备运行、生产不停顿的情况下，根据信号处理的基本原理，掌握设备运行状况，对生产过程进行预测预报及必要调整。在线检测在机械制造中的应用越来越广。

2. 加工后的检验

单件小批生产中，尺寸精度一般用外径千分尺检验；大批大量生产时，常采用光滑极限量规检验；长度大而精度高的工件可用比较仪检验。表面粗糙度可用粗糙度样板进行检验；要求较高时则用光学显微镜或轮廓仪检验。圆度误差可用千分尺测出的工件同一截面内直径的最大差值之半来确定，也可用千分表借助 V 形架来测量，若条件许可，可用圆度仪检验。圆柱度误差通常用千分尺测出同一轴向剖面内最大值与最小值之差的方法来确定。主轴相互位置精度检验一般以轴两端顶尖孔或工艺锥堵上的顶尖孔为定位基准，在两支承轴颈上方分别用千分表测量。

3. 螺纹的测量

该零件的螺纹为双线左旋螺纹，且导程为 4mm，在使用螺纹千分尺进行中径检测时，要考虑螺旋升角对检测结果的影响，即对结果进行修正。

案例 2

电机轴的加工

一、图样分析及技术要求

图 3-2-1 为某个型号电机轴零件的车工序简图。由零件简图可知，该轴为典型的台阶轴，其上有安装支承轴承的圆柱面、安装电动机散热风扇的短圆锥面、轴向固定用 C 型中心孔以及四处越程槽，本道工序完成该零件的半精加工。

车工序的关键技术要求如下：

- 1) C 型中心孔对轴心线的圆跳动 $\leq 0.5\text{mm}$ 。
- 2) $\phi 38\text{h}11$ 两轴肩尺寸 $19\text{h}7$ 要求控制在公差范围内。
- 3) 越程槽加工时保留 $R0.5\text{mm}$ 清根圆弧。
- 4) 倒角尺寸按照要求预留磨量处理。

二、工艺性分析

1. 机床、夹具选择

通过对产品零件图分析，考虑到是批量加工以及经济性，应选用四刀位以上的经济型数控车床，选用通用夹具自定心卡盘，采用一夹一顶方法装夹加工。为了保证工件二次装夹定位精度，可使用软爪夹持工件进行掉头加工，软爪的定位弧面需要在装夹前现场车制完成，可获得理想的夹持精度，但是，定位面长度不宜过长，否则易因重复定位造成定位误差。为了保证定位精度，必须找正尾座顶尖轴线与主轴轴线同轴。批量生产中，为了保证零件掉头加工的 Z 轴定位尺寸的一致性，可以选择在主轴孔内安置一 Z 轴定位装置（俗称锥堵），如图 3-2-2、图 3-2-3 所示。

2. 刀具选择

本案例根据工件材料和加工性要求，数控车刀具选用机夹可转位涂层刀具，越程槽刀具选择时要考虑槽底 $R0.5\text{mm}$ ，种类见表 3-2-1。

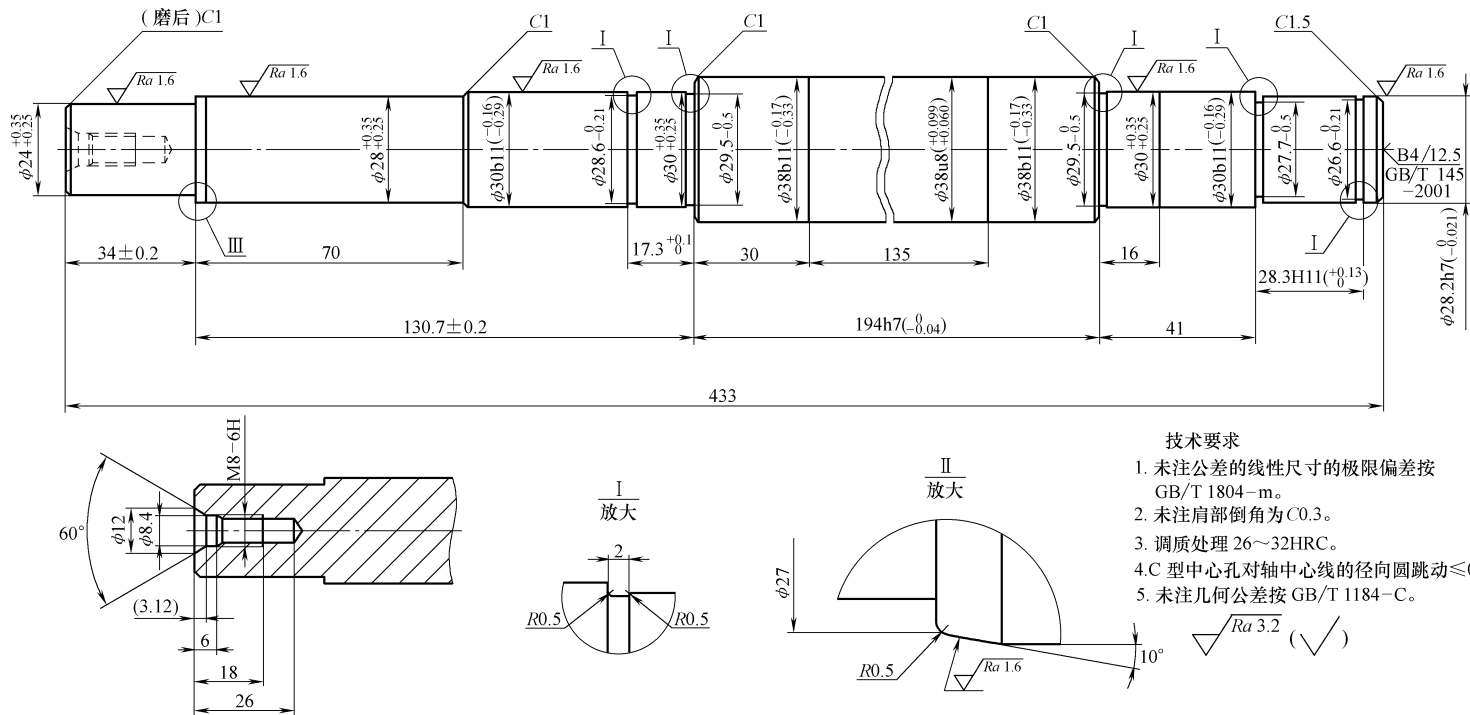


图 3-2-1 电机轴工序简图



图 3-2-2 定位尺寸 Z 轴定位装置



图 3-2-3 可调尺寸 Z 轴定位装置

表 3-2-1 电机轴数控加工刀具卡片

产品名称				零件名称	电机轴	零件图号		
序号	刀具号	刀具名称	数量	加工表面		刀尖半径/mm	刀具规格（长/mm） ×（宽/mm）	
1	T01	55°偏刀，见图 3-1-2	1	粗车端面、外圆		0.40	25×25	
2	T02	B4 型中心钻	1	钻中心孔				
3	T03	35°偏刀，见图 3-1-5	1	精车所有外圆		0.20	25×25	
4	T04	切槽刀（刀宽 2mm）， 见图 3-1-4	1	切越程槽		0.20	20×20	
编制	×××	审核	×××	批准	××	××年×月×日	共 1 页	第 1 页

注：切槽刀刀头宽度必须进行检测，不满足尺寸要求不能使用。

三、加工工艺路线

1. 确定加工顺序及进给路线

- 1) 加工顺序按先粗后精、由近到远（先尾座后卡盘）的原则进行，在一次装夹中尽可能加工出较多的工件表面。由于该零件为批量生产，可先行完成零件左端部分，进给路线设计考虑最短进给路线或最短空行程路线，外轮廓表面车削进给路线按照零件轮廓顺序进行。
- 2) 零件取总长、钻中心孔可在专用机床上完成。
- 3) 加工过程中，粗加工后进行切槽加工，再进行精加工。

2. 确定切削用量

根据被加工表面质量要求、刀具材料和工件材料，参考切削用量手册或有关资料选取切削参数，参考结果见表 3-2-2。

粗加工时，在工艺系统刚性和机床功率允许的情况下，尽可能选取较大的切削参数；精加工时，为保证零件精度要求，背吃刀量一般取 0.3 ~ 0.5mm 较为合适，进给速度 f 为 0.08 ~ 0.1mm/r 为宜。

表 3-2-2 电机轴数控加工工序卡

厂名			产品名称或代号		零件名称		零件图号	
					电机轴			
工序号	程序编号		夹具名称		使用设备		车间	
002			自定心卡盘		CKA6150			
工步号	工步内容		刀具号	刀具规格 (长/mm) × (宽/mm)	主轴转速/ (r/min)	进给速度 / (mm/r)	背吃刀 量/mm	备注
1	车右端面		T01	25 × 25	800	0.20		手动
2	钻 B4 中心孔		T02		1000			手动
3	一夹一顶，粗车右端各级外圆至左φ29.5mm处，留精加工余量1.0mm		T01	25 × 25	800	0.15	1.5	手动
4	切三处越程槽，保证轴肩尺寸		T04	20 × 20	600	0.05		自动
5	精车各级外圆，保证尺寸和几何精度，倒角倒钝		T03	25 × 25	1500	0.08	0.5	自动
6	零件掉头，软爪装夹，取总长，加工 C 型中心孔		T01	25 × 25	800	0.20	1.5	自动
7	一夹一顶粗车零件左端各级外圆		T01	25 × 25	800	0.15	1.5	自动
8	切越程槽		T04	20 × 20	600	0.05	1	自动
9	精车各级外圆，保证尺寸和几何精度，倒角倒钝		T03	25 × 25	1500	0.08	0.5	自动
编制	× × ×	审核	× × ×	批准	× × ×	× × 年 × 月 × 日	共 1 页	第 1 页

四、加工技巧与注意事项

1. 程序编制与调试

- (1) 数控车削编程要点
- 1) 灵活运用绝对值、增量值编程。

2) 零件长度尺寸较大，宜采用分段加工。

3) 越程槽加工宜采用二次进刀方式，确保槽宽尺寸。
- (2) 指令选用
- 1) 粗车时采用 G90 单一固定形状循环指令。

- 2) 精加工采用单段指令, 为了保证精度, 可在刀具磨耗中预留精加工余量。
- 3) 越程槽采用子程序循环 M98/M99 指令。

2. 机床调试与对刀

(1) 机床调整

- 1) 开机后首先必须执行手动返回参考点。
- 2) 编程前机床进行初始化, MDI 输入 “G99 G97 G21 G40”。
- 3) 在调试加工程序进行试切时, 首先选择比较小的进给倍率, 如 5%、10% 等, 首次运行程序要在单段方式下运行。
- 4) 零件掉头加工前必须对软爪进行再加工。
- 5) 首件试切调整好 Z 轴定位装置的位置。

(2) 对刀

- 1) 采用试切对刀法将刀具形状补偿值存入 OFFSET 中。
- 2) 采用 G54 ~ G59 设置刀具偏置值的方式对刀。
- 3) 采用 G50 设置当前坐标系法, 注意程序的起点必须与 G50 设置一致, 否则会使工件坐标系产生偏差。

五、零件检测

批量生产中, 尺寸精度用外径千分尺检测, 也可用光滑极限量规检测。表面粗糙度用粗糙度样板进行检验或用光学显微镜或轮廓仪检测。圆度误差可用千分尺直接检测, 也可用千分表借助 V 形架来测量, 还可用圆度仪检验。圆柱度误差用千分尺测出轴向长度内不同截圆直径值之差来测定。同轴度精度检测以轴两端顶尖孔为定位基准, 在偏摆仪上进行。

案例 3

环盖零件的加工

一、图样分析及技术要求

环盖零件为电子产品中的一个部件（见图 3-3-1），该零件为锻铝合金材料，属于薄壁类零件，包含三个环形端面槽，几何公差要求较严格，零件在加工过程中极易变形。

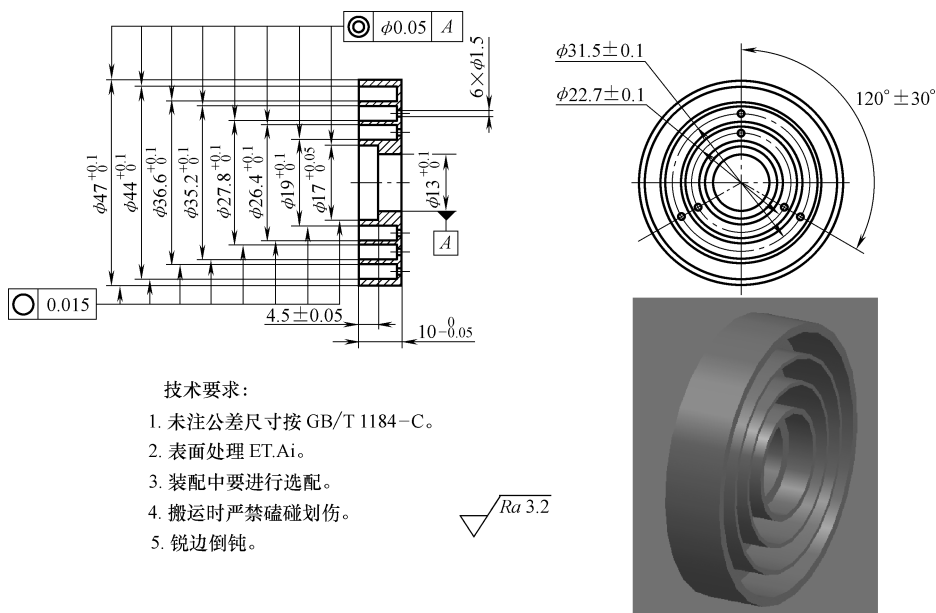


图 3-3-1 环盖零件图

锻铝合金属于变形铝合金的一类，包括铝镁硅铜系变形铝合金和铝镁硅系变形铝合金，主要用作形状复杂的锻件。镁和硅可形成强化相 Mg_2Si ；铜可以改善热加工性能，并形成强化相 $Cu_4Mg_5Si_4Al$ ；锰可以防止加热时出现过热。锻铝合金大都在淬火、人工时效状态下使用。在淬火后应立即进行人工时效，否则会降低强化效果。锻

铝合金主要牌号有 6A02 等。锻铝合金高温强度低，热塑性好，可锻造加工成形状复杂的锻件和模锻件，也可轧制成板材或其他型材，主要用于飞机结构件上。

二、工艺性分析

1. 机床、夹具选择

为达到批量加工效率且能够保证零件在加工时尽量减少变形，可选用经济型数控车床进行加工，零件的装夹选用通用自定心卡盘，结合螺纹压紧胎和螺纹心轴的方式进行定位加工，如图 3-3-2、图 3-3-3 所示。

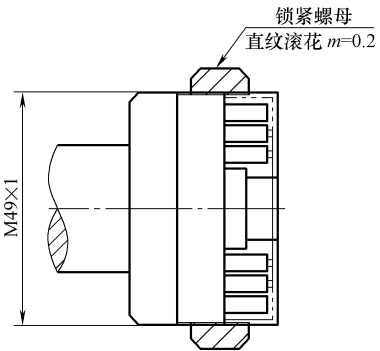


图 3-3-2 螺纹压紧胎

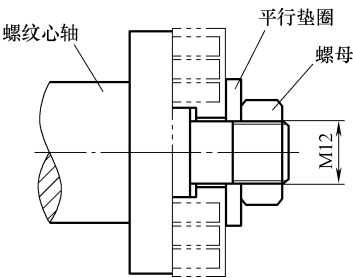


图 3-3-3 螺纹心轴

2. 刀具选择

本案例根据工件材料和加工性要求，数控车刀具选用机夹可转位涂层刀具，刀片选用铝加工刀片材料和确保刀具锋利且切削抗力小的刀具参数。按照端面槽的尺寸范围选择刀具的几何尺寸见表 3-3-1。

表 3-3-1 环盖数控加工刀具卡片

产品名称				零件名称	电机轴	零件图号		
序号	刀具号	刀具名称	数量	加工表面	刀尖半径/mm	刀具规格 (长/mm) × (宽/mm)		
1	T01	55°偏刀	1	粗车端面、外圆	0.40	25 × 25		
2	T02	A3 型中心钻	1	钻 φ3mm 中心孔				
3	T03	35°偏刀	1	精车所有外圆	0.20	25 × 25		
4	T04	钻头 φ12mm	1	钻底孔				
5	T05	端面槽刀，见图 3-3-4	1	加工环形端面槽	0.20	20 × 20		
6	T06	内孔车刀，见图 3-3-5	1	加工台阶内孔	0.20	25 × 25		
7	T07	外螺纹车刀	1	加工工艺螺纹		25 × 25		
编制	× × ×	审核	× × ×	批准	× ×	× × 年 × 月 × 日	共 1 页	第 1 页

注：选取刀具参数时确保大的前角、主偏角，正的刃倾角和小的刀尖圆弧半径。

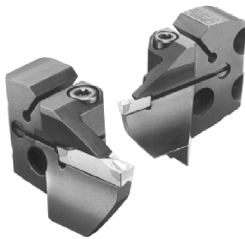


图 3-3-4 端面槽刀



图 3-3-5 内孔车刀

三、加工工艺路线

1. 确定加工顺序及进给路线

- 1) 按照图 3-3-6 所示用自定心卡盘装夹毛坯加工端面槽、阶台内孔和工艺外螺纹 M49×1。
- 2) 按照图 3-3-7 所示装夹零件取总长。
- 3) 按照图 3-3-8 所示装夹零件车去工艺螺纹。

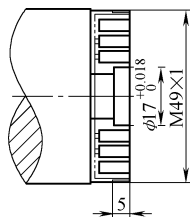


图 3-3-6 加工端面槽、阶台内孔和工艺外螺纹

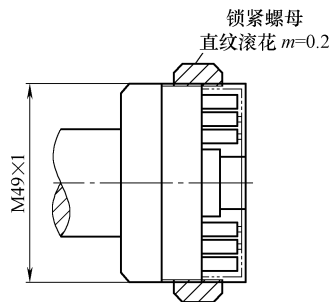


图 3-3-7 取总长

2. 确定切削用量

根据被加工表面质量要求、工件材料和刀具切削参数以及考虑控制切削力，选取合理的切削参数，参考结果见表 3-3-2。

粗加工时，在工艺系统刚性和机床功率允许的情况下，尽可能选取较大的切削参数；精加工时，为保证零件精度要求，背吃刀量一般取 0.1 ~ 0.5mm 较为合适，进给速度 f 为 0.08 ~ 0.1mm/r 为宜。

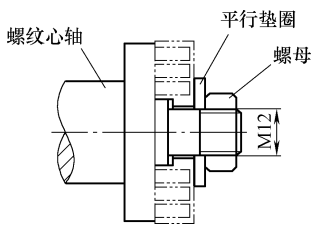


图 3-3-8 车去工艺螺纹

表 3-3-2 环盖数控加工工序卡

厂名				产品名称或代号			零件名称		零件图号		
							环盖				
工序号		程序编号		夹具名称			使用设备		车间		
001				自定心卡盘			CKA6150				
工步号		工步内容		刀具号	刀具规格 (长/mm) × (宽/mm)		主轴转速/ (r/min)	进给速度/ (mm/r)	背吃刀量/ mm	备注	
1		平端面		T01	25 × 25		800	0.20		手动	
2		钻 A3 中心孔		T02			1000			手动	
3		钻 φ12mm 通孔		T04	25 × 25		800	0.15		手动	
4		车阶台内孔		T06				0.08			
5		切端面槽		T05	20 × 20		600	0.10		自动	
6		车工艺螺纹，倒角 倒钝		T07	25 × 25		1500	0.08		自动	
7		零件掉头，螺纹压 紧胎装夹，取总长		T03	25 × 25		1000	0.08		自动	
8		螺纹心轴装夹，精 车外径至尺寸精度 要求		T03	20 × 20		1000	0.08		自动	
编制	× × ×	审核	× × ×	批准	× × ×	× × 年 × 月 × 日		共 1 页	第 1 页		

四、加工技巧与注意事项

1. 程序编制与调试

- (1) 数控车削编程要点
- 1) 灵活运用绝对值、增量值编程。

2) 零件属于薄壁类零件，控制好切削力。

3) 端面槽加工宜采用二次进刀方式，确保槽宽尺寸并防止变形。
- (2) 指令选用
- 1) 外径、内孔加工采用 G90 单一固定形状循环指令。

2) 单个端面槽加工使用 G74 钻孔循环指令。

3) 多槽加工采用子程序循环加工指令。

2. 机床调试与对刀

- (1) 机床调整
- 1) 开机后首先必须执行手动返回参考点。

2) 编程前机床进行初始化，MDI 输入 “G99 G97 G21 G40”。

3) 在调试加工程序进行试切时, 首先选择比较小的进给倍率, 如 5%、10% 等, 首次运行程序要在单段方式下运行。

4) 零件掉头加工前必须对软爪进行再加工。

5) 首件试切调整好 Z 轴定位装置的位置。

(2) 对刀

1) 采用试切对刀法将刀具形状补偿值存入 OFFSET 中。

2) 采用 G54 ~ G59 设置刀具偏置值的方式对刀。

3) 采用 G50 设置当前坐标系法, 注意程序的起点必须与 G50 设置一致, 否则会使工件坐标系产生偏差。

4) 端面槽刀在对刀过程中需要建立两个刀具半径补偿号, 即左、右刀尖分别对刀, 以便在精修端面槽槽宽时控制精度。

五、零件检测

批量生产中, 外径尺寸精度用外径千分尺检测, 端面槽各级直径尺寸可用内测千分尺、公法线千分尺检测。表面粗糙度用粗糙度样板进行检验或用光学显微镜或轮廓仪检验。圆度误差可用千分尺直接检测, 也可用千分表借助 V 形架来测量, 还可圆度仪检验。同轴度精度检验以定位孔为定位基准, 在偏摆仪上进行, 或者在三坐标测量仪上进行。

案例 4

液压泵零件的加工

一、液压泵轴套加工

1. 零件图（见图 3-4-1）

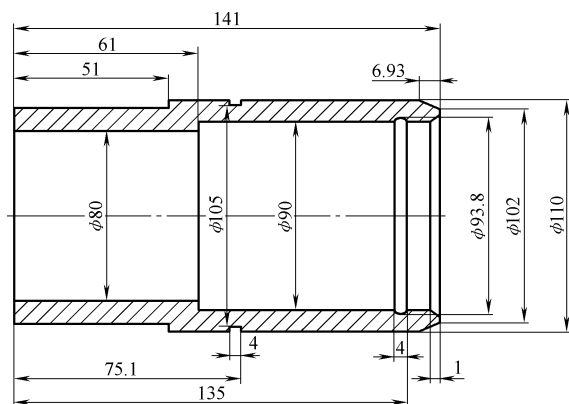


图 3-4-1 液压泵轴套零件图

2. 加工工艺步骤与刀具

- 1) 车端面见平，粗车 $\phi 110$ mm 外圆，车圆锥长 6.93 mm；使用 T01（90°外圆车刀）。
- 2) 粗车 $\phi 90$ mm、 $\phi 80$ mm 内孔，保证长度 61 mm；使用 T03（内孔车刀）。
- 3) 精车端面、外圆至尺寸；使用 T05（90°外圆车刀）。
- 4) 切槽 $\phi 93.8$ mm $\times$ 4 mm；使用 T07（切槽刀）。
- 5) 精车内圆至尺寸；使用 T09（内孔车刀）。
- 6) 切槽 4 mm $\times$ 2.5 mm；使用 T11（切槽刀）。

3. 参考程序

O0001；

N001 G50 X400.0 Z400.0 T0101;
N002 S300 M03;
N003 G00 X118.0 Z141.5;
N004 G01 X82.0 F0.3;
N005 G00 X103.0;
N006 G01 X110.5 Z135.0 F0.2;
N007 Z48.0 F0.3;
N008 G00 X400.0 Z400.0 T0101;
N009 M06 T0303;
N010 G00 X89.5 Z180.0;
N011 Z145.0;
N012 G01 Z61.5 F0.3;
N013 X79.5;
N014 Z-5.0;
N015 G00 X75.0;
N016 Z180.0;
N017 G00 X400.0 Z400.0 T0300;
N018 M06 T0505;
N019 S600 M03;
N020 G00 X85.0 Z145.0;
N021 G01 Z141.0 F0.5;
N022 X102.0 F0.2;
N023 U8.0 W-6.93;
N024 G01 Z48.0 F0.08;
N025 G00 X112.0;
N026 X400.0 Z400.0 T0500;
N027 M06 T0707;
N028 S200 M03;
N029 G00 X85.0 Z180.0;
N030 Z131.0 T0707 M08;
N031 G01 X93.8 F0.2;
N032 G00 X85.0;
N033 Z180.0;
N034 X400.0 Z400.0 T0700 M09;
N035 M06 T0909;
N036 S600 M03;

N037 G00 X94.0 Z140.0 F0.2;
 N038 Z142.0;
 N039 G01 X90.0 Z140.0 F0.2;
 N040 Z61.0;
 N041 X80.2;
 N042 Z-5.0;
 N043 G00 X75.0;
 N044 Z180.0;
 N045 X400.0 Z400.0 T0900;
 N046 M06 T1111;
 N047 S240 M03;
 N048 G00 X115.0 Z71.0;
 N049 G01 X105.0 F0.1 T1111 M08;
 N050 X115.0;
 N051 G00 X400.0 Z400.0 T1100 M09;
 N052 M05;
 N053 M30;

二、液压泵主轴加工

1. 零件图（见图 3-4-2）

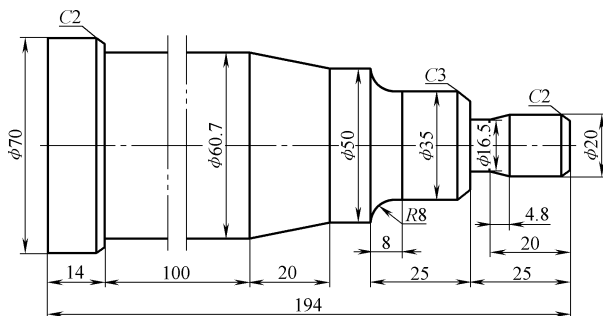


图 3-4-2 液压泵主轴简图

2. 加工工艺步骤与刀具

- 1) 车端面见平，粗车 $\phi 71\text{mm}$ ，长大于 16mm；使用 T01（45°外圆车刀）和 T02（90°外圆车刀）。
- 2) 粗车 $\phi 61\text{mm}$ ，长 100mm；使用 T02（90°外圆车刀）。
- 3) 粗车 $\phi 51\text{mm}$ ，车锥长 20mm；使用 T02（90°外圆车刀）。
- 4) 粗车 $\phi 36\text{mm}$ ，倒圆角 R8mm，保证尺寸 25mm；使用 T02（90°外圆车刀）。

- 5) 粗车 $\phi 21\text{mm}$ 、 $\phi 16.5\text{mm}$ ，保证尺寸 20mm ；使用 T02（ 90° 外圆车刀）。
- 6) 精车各部至尺寸，各部位倒角；使用 T03（ 90° 外圆车刀）。
- 7) 切断，保证总长 194mm ；使用 T05（切断刀）。

3. 参考程序

```

O0001;
N001 G50 X150 Z60;
N002 S450 M03 T0101;
N003 G00 X74 Z0 M08;
N004 G01 X -1 F0.25;
N005 G00 X80 Z5;
N006 X150 Z60;
N007 T0100 M03;
N008 T0202 M03;
N009 S650;
N010 G00 X74 Z5;
N011 G71 P013 Q027 U0.5 W0.1 D2 F0.3 S650;
N012 G42 G00 X15 Z0.5;
N013 G01 X20 Z -2 F0.15;
N014 Z -15.2;
N015 X18 Z -20;
N016 Z -25;
N017 X29;
N018 X35 Z -28;
N019 Z -42;
N020 G02 X50 Z -50 R8;
N021 G01 Z -60;
N022 X60.7 Z -80;
N023 G01 Z -180;
N024 X70 Z -82;
N025 Z -98;
N026 X74;
N027 G40;
N028 G00 X150 Z60;
N029 M01;
N030 T0303 M03;
N031 S650;
    
```

N032 G70 P013 Q027;
 N033 G00 X150 Z60;
 N034 T0300 M01;
 N035 T0404 M03 S600;
 N036 G00 X74 Z-194 M08;
 N037 G01 X0 F0.1;
 N038 G00 X150 Z60 M09 T0500;
 N039 M30;

三、液压泵滑靴加工

1. 零件图 (见图 3-4-3)

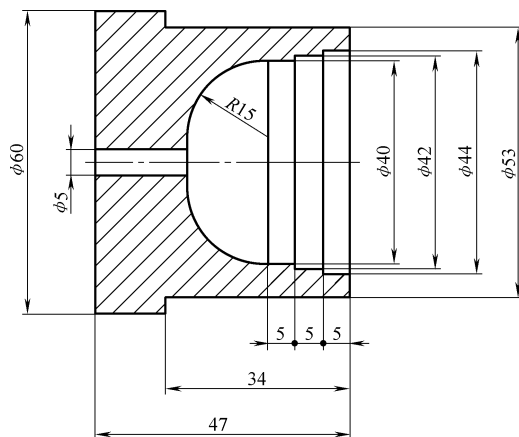


图 3-4-3 液压泵滑靴零件图

2. 加工工艺步骤与刀具

- 1) 车端面见平, 粗车 $\phi 43.5\text{mm}$, 长 5mm, 粗车 $\phi 41.5\text{mm}$, 长 5mm, 粗车 $\phi 39.5\text{mm}$, 长 5mm; 使用 T01 (45°内孔车刀)。
- 2) 车 R15mm 尺寸; 使用 T01 (45°内孔车刀)。
- 3) 精车各部到尺寸; 使用 T01 (45°内孔车刀)。
- 4) 钻 $\phi 5\text{mm}$ 内孔; 使用 T02 ($\phi 5\text{mm}$ 钻头)。

3. 参考程序

O0001;
 N001 G50 X70 Z60;
 N002 S400 M03 T0101;
 N003 G71 U2 R1;
 N004 G71 P005 Q011 U-0.6 W0.3 D1.5 F100 S800;

N005 G00 X44 Z48;
N006 G01 W - 5;
N007 X42;
N008 W - 5;
N009 X40;
N010 W - 5;
N011 G03 U - 30 W - 15 R7;
N012 G70 P005 Q011;
N013 T0101 M01;
N014 T0202 M03 S600;
N015 G00 Z48;
N016 G01 Z - 2;
N017 M05;
N018 M30;

案例 5

非圆曲线零件的自动编程

一、零件图

图 3-5-1 所示为某发射元件结构简图, 该零件主要结构表面由 $R33\text{mm}$ 圆弧与旋转后的椭圆曲线共同构成, 属于非圆曲线零件。

二、自动编程

由于该零件的主要构成表面为椭圆曲线旋转后获得, 又与 $R33\text{mm}$ 圆弧相连接构成, 编程时需要操作者有较强的编程技能, 编程计算量也很大, 而且要能够进行变量编程, 即宏程序编程, 对一般操作人员来说很难实现。如果该零件采用自动编程软件生成程序, 操作起来就会很轻松。下面就以 CAXA 数控车编程软件为例完成该零件关键曲面的加工程序。

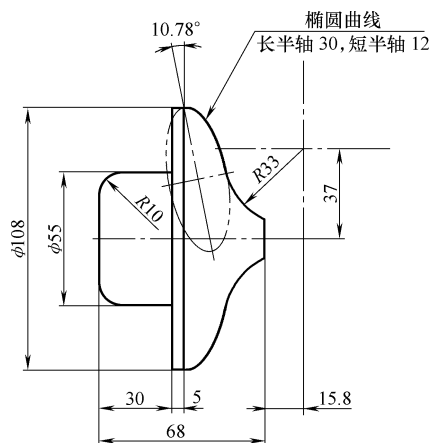


图 3-5-1 发射元件

1. 建模并生成加工轨迹

(1) 零件建模 在进行零件建模的操作中, 将右端外轮廓加工的轮廓画好, 零件毛坯轮廓直径为 $\phi 110\text{mm}$, 建模时将零件右端面加工出 2mm 余量, 并将零件右端面加工最终轮廓零点设定在坐标系原点上, 以便生成程序文件时的坐标值能够与机床的坐标值相一致 (见图 3-5-2)。

(2) 生成外圆轮廓的粗、精加工轨迹

1) 确定粗车加工参数 (见图 3-5-3)。

特别提示: 因为是外圆轮廓加工, 加工角度设定为 180° , 干涉前角设定为 0° , 为了避免副偏角在加工的过程中产生干涉报警, 干涉后角设定为 50° 。

2) 确定轮廓车刀参数 (见图 3-5-4)。

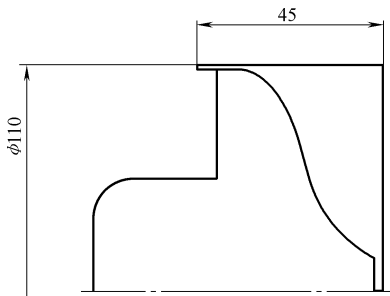


图 3-5-2 零件加工表面建模

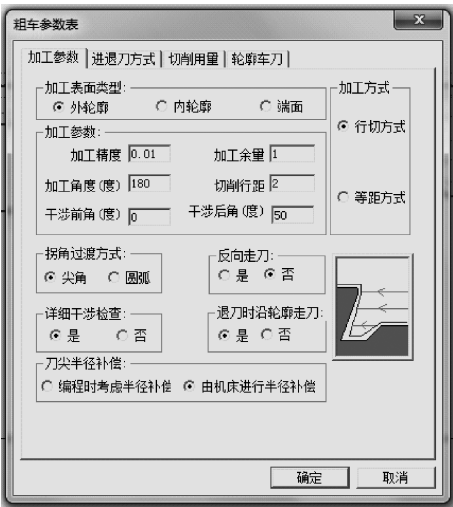


图 3-5-3 “粗车参数表”对话框

特别提示：因为是外圆轮廓加工，刀具主偏角角度一般为 95° ，则刀具前角（刀尖角）设定为 80° 。为了避免副偏角在加工的过程中产生干涉，刀具后角（即刀具的副偏角）设定为 35° ，刀具号、刀具补偿号要补足两位数，也可在后置处理参数中调整输出要求（见图 3-5-5、图 3-5-6）。

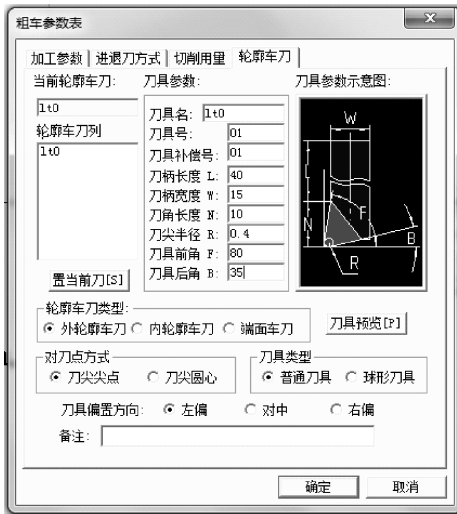


图 3-5-4 “轮廓车刀”选项卡



图 3-5-5 机床后置处理选项

- 3) 输入进退刀点坐标。粗车进退刀点设定在离开端面 5mm、 X 轴方向半径值为 60mm 的地方，既方便调用刀具，又可以尽量减少空行程。
- 4) 生成粗加工轨迹（见图 3-5-7）。

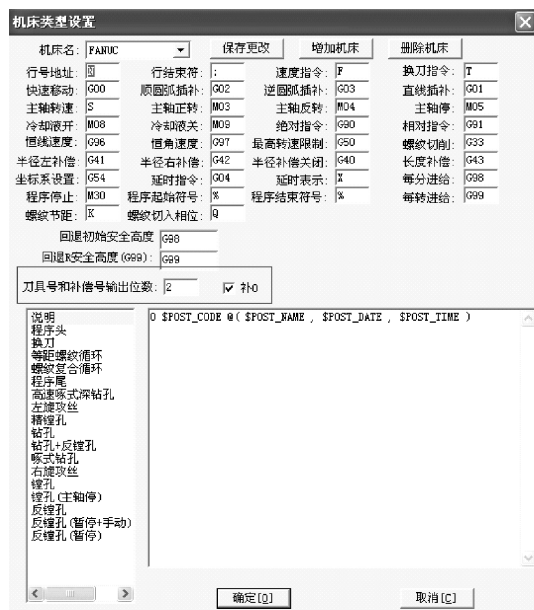


图 3-5-6 机床后置处理选项卡

5) 确定精车加工参数 (见图 3-5-8)。

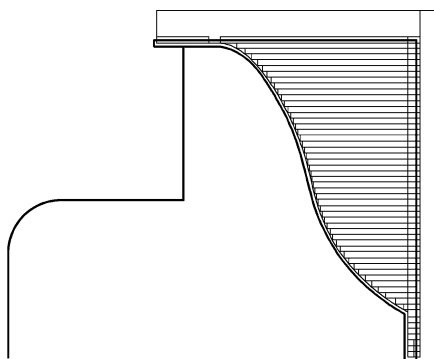


图 3-5-7 粗加工轨迹

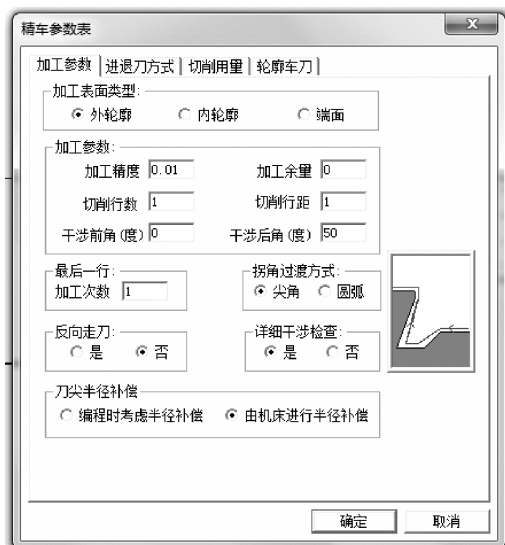


图 3-5-8 “精车参数表”对话框

6) 确定切削用量参数 (见图 3-5-9)。精加工时主轴转速选项选择恒线速度, 特别适合连续圆弧轮廓的表面加工, 可以有效地降低零件表面粗糙度值。

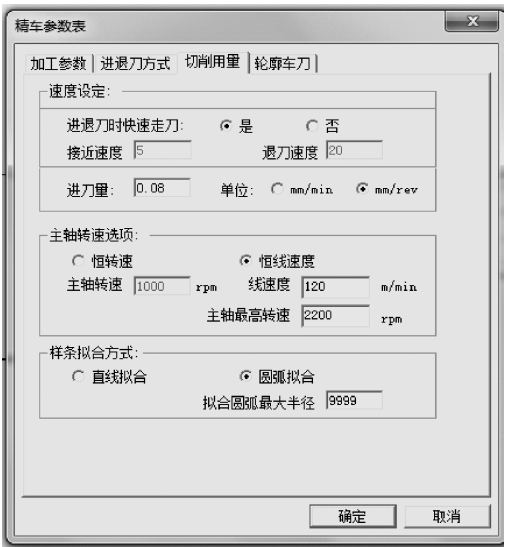


图 3-5-9 “切削用量” 选项卡

7) 确定轮廓车刀参数 (见图 3-5-10)。

特别提示：精加工若采用第二把刀具，前角（刀尖角）设定为 80° ，为了避免副偏角在加工的过程中产生干涉，刀具后角（即刀具的副偏角）设定为 55° 。另外，刀尖圆弧半径可根据加工精度要求进行调整。

8) 输入进退刀点坐标。

9) 生成精加工轨迹 (见图 3-5-11)。

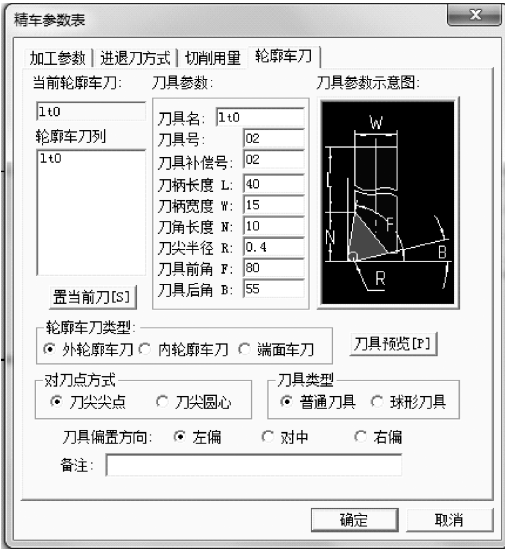


图 3-5-10 “轮廓车刀” 选项卡

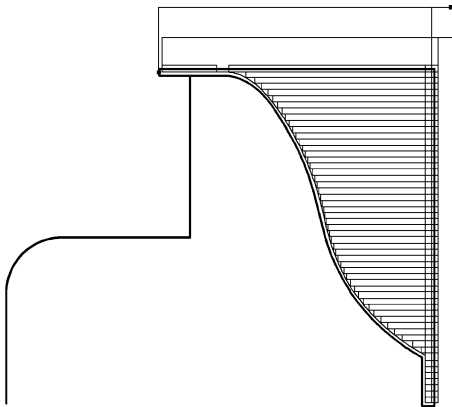


图 3-5-11 精加工轨迹

2. 生成粗、精加工代码文件（见图 3-5-12、图 3-5-13）

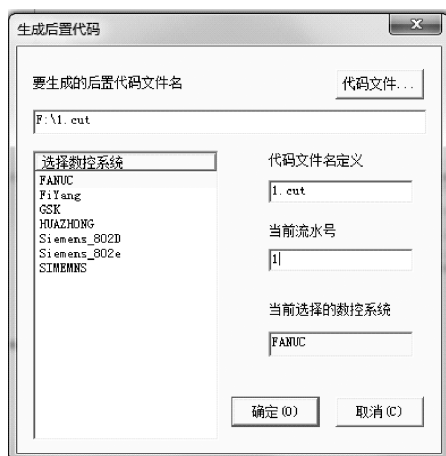


图 3-5-12 生成粗、精加工代码文件对话框

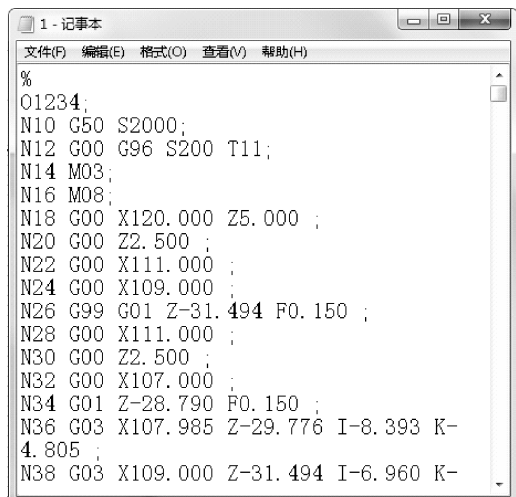


图 3-5-13 NC 程序文件

按照加工顺序分别拾取粗、精加工轨迹，在同一个 NC 程序文件中生成粗、精加工程序。

三、程序传输

程序文件生成后可以使用 CF 卡进行 NC 程序文件的传输，操作较为方便。

1. CF 卡的准备

使用图 3-5-14 所示的 CF 卡进行程序传输前，要对存储卡进行格式化，然后使用专用读卡器按照常规 U 盘操作的方法进行程序文件的复制。

2. 机床数据传输的相应调整

进入 MDI 操作界面，打开 OFS/SET 界面，光标移至 I/O 频道选择，选择通信通道为 4 即可。

3. 向机床传输程序

1) 正确插入 CF 卡，机床选择编辑功能，按 PROG 键，进入编辑程序界面，按操作软键，向右扩展键，按 CARD，找到 CF 卡，机床显示 CF 卡内程序列表。

2) 按操作软键，选择 FREAD，选择要传输的程序文件，按 F 设定程序文件号，按 O 设定将要存入机床的程序号，按执行软键，程序输入成功。当选择要存入机床的程序号在机床中已经存在时，执行命令后，机床出现 073 报警“选择完



图 3-5-14 CF 卡与读卡器

了的程序 NO.”，按复位键 RESET 可解除，再重复上述操作步骤，选择新的程序号进行存储即可。

4. 由机床向 CF 卡传输程序

1) 正确插入 CF 卡，机床选择编辑功能，按 PROG 键，进入编辑程序界面，机床显示内存程序列表时，按操作软键，向右扩展，按 PUNCH 键，输入要传出的程序号，如“O1234”，按执行即可。当选择的程序号在 CF 卡中已经存在，会显示“EDIT OVERWRITE?”，即是否覆盖写入，可以选择覆盖写入或取消当前操作，选择新的存入程序号重新上述操作步骤。

2) 进入编辑程序界面，机床显示当前执行程序时，按操作软键，向右扩展，点按 PUNCH 键，按执行即可。当选择的程序号在 CF 卡中已经存在，会显示“EDIT OVERWRITE?”，即是否覆盖写入，可以选择覆盖写入或取消当前操作。

数控车工国家职业标准

一、职业概况

1. 职业名称

数控车工。

2. 职业定义

从事编制数控加工程序并操作数控车床进行零件车削加工的人员。

3. 职业等级

本职业共设四个等级，分别为中级（国家职业资格四级）、高级（国家职业资格三级）、技师（国家职业资格二级）、高级技师（国家职业资格一级）。

4. 适用对象

从事或准备从事本职业的人员。

5. 等级鉴定申报条件

——中级（具备以下条件之一者）：

- 1) 经本职业中级正规培训达规定标准学时数，并取得结业证书。
- 2) 连续从事本职业工作 5 年以上。
- 3) 取得经劳动保障行政部门审核认定的，以中级技能为培养目标的中等以上职业学校本职业（或相关专业）毕业证书。

4) 取得相关职业中级《职业资格证书》后，连续从事本职业 2 年以上。

——高级（具备以下条件之一者）：

- 1) 取得本职业中级职业资格证书后，连续从事本职业工作 2 年以上，经本职业高级正规培训，达到规定标准学时数，并取得结业证书。
- 2) 取得本职业中级职业资格证书后，连续从事本职业工作 4 年以上。
- 3) 取得劳动保障行政部门审核认定的，以高级技能为培养目标的职业学校本

职业（或相关专业）毕业证书。

4) 大专以上本专业或相关专业毕业生，经本职业高级正规培训，达到规定标准学时数，并取得结业证书。

——技师（具备以下条件之一者）：

1) 取得本职业高级职业资格证书后，连续从事本职业工作 4 年以上，经本职业技师正规培训达规定标准学时数，并取得结业证书。

2) 取得本职业高级职业资格证书的职业学校本职业（专业）毕业生，连续从事本职业工作 2 年以上，经本职业技师正规培训达规定标准学时数，并取得结业证书。

3) 取得本职业高级职业资格证书的本科（含本科）以上本专业或相关专业的毕业生，连续从事本职业工作 2 年以上，经本职业技师正规培训达规定标准学时数，并取得结业证书。

——高级技师：

取得本职业技师职业资格证书后，连续从事本职业工作 4 年以上，经本职业高级技师正规培训达规定标准学时数，并取得结业证书。

6. 鉴定方式

鉴定方式分为理论知识考试和技能操作考核。理论知识考试采用闭卷方式，技能操作（含软件应用）考核采用现场实际操作和计算机软件操作方式。理论知识考试和技能操作（含软件应用）考核均实行百分制，成绩皆达 60 分及以上者为合格。技师和高级技师还需进行综合评审。

7. 鉴定时间

理论知识考试为 120min，技能操作考核中实操时间为：中级、高级不少于 240min，技师和高级技师不少于 300min，技能操作考核中软件应用考试时间为不超过 120min，技师和高级技师的综合评审时间不少于 45min。

二、基本要求

1. 基础理论知识

- (1) 机械制图
- (2) 工程材料及金属热处理知识
- (3) 机电控制知识
- (4) 计算机基础知识
- (5) 专业英语基础

2. 机械加工基础知识

- (1) 机械原理
- (2) 常用设备知识（分类、用途、基本结构及维护保养方法）
- (3) 常用金属切削刀具知识

- (4) 典型零件加工工艺
- (5) 设备润滑和切削液的使用方法
- (6) 工具、夹具、量具的使用与维护知识
- (7) 普通车床、钳工基本操作知识

3. 安全文明生产与环境保护知识

- (1) 安全操作与劳动保护知识
- (2) 文明生产知识
- (3) 环境保护知识

4. 质量管理知识

- (1) 企业的质量方针
- (2) 岗位质量要求
- (3) 岗位质量保证措施与责任

5. 相关法律、法规知识

- (1) 劳动法的相关知识
- (2) 环境保护法的相关知识
- (3) 知识产权保护法的相关知识

三、工作要求

本标准对中级、高级、技师和高级技师的技能要求依次递进，高级别涵盖低级别的要求。

表 A-1 中级技能要求

职业功能	工作内容	技能要求	相关知识
一、加工准备	(一) 读图与绘图	1. 能读懂中等复杂程度（如曲轴）的零件图 2. 能绘制简单的轴、盘类零件图 3. 能读懂进给机构、主轴系统的装配图	1. 复杂零件的表达方法 2. 简单零件图的画法 3. 零件三视图、局部视图和剖视图的画法 4. 装配图的画法
	(二) 制订加工工艺	1. 能读懂复杂零件的数控车床加工工艺文件 2. 能编制简单（轴、盘）零件的数控加工工艺文件	数控车床加工工艺文件的制订
	(三) 零件定位与装夹	能使用通用夹具（如自定心卡盘、单动卡盘）进行零件的装夹与定位	1. 数控车床常用夹具的使用方法 2. 零件定位、装夹的原理和方法

(续)

职业功能	工作内容	技能要求	相关知识
一、加工准备	(四) 刀具准备	1. 能够根据数控加工工艺文件选择、安装和调整数控车床常用刀具 2. 能够刃磨常用车削刀具	1. 金属切削与刀具磨损知识 2. 数控车床常用刀具的种类、结构和特点 3. 数控车床、零件材料、加工精度和工作效率对刀具的要求
二、数控编程	(一) 手工编程	1. 能编制由直线、圆弧组成的二维轮廓数控加工程序 2. 能编制螺纹加工程序 3. 能够运用固定循环、子程序进行零件的加工程序编制	1. 数控编程知识 2. 直线插补和圆弧插补的原理 3. 坐标点的计算方法
	(二) 计算机辅助编程	1. 能够使用计算机绘图设计软件绘制简单(轴、盘、套)零件图 2. 能够利用计算机绘图软件计算节点	计算机绘图软件(二维)的使用方法
三、数控车床操作	(一) 操作面板	1. 能够按照操作规程启动及停止机床 2. 能使用操作面板上的常用功能键(如回零、手动、MDI、修调等)	1. 熟悉数控车床操作说明书 2. 数控车床操作面板的使用方法
	(二) 程序输入与编辑	1. 能够通过各种途径(如 DNC、网络等)输入加工程序 2. 能够通过操作面板编辑加工程序	1. 数控加工程序的输入方法 2. 数控加工程序的编辑方法 3. 网络知识
	(三) 对刀	1. 能进行对刀并确定相关坐标系 2. 能设置刀具参数	1. 对刀的方法 2. 坐标系的知识 3. 刀具偏置补偿、半径补偿与刀具参数的输入方法
	(四) 程序调试与运行	能够对程序进行校验、单步执行、空运行并完成零件试切	程序调试的方法
四、零件加工	(一) 轮廓加工	1. 能进行轴、套类零件加工,并达到以下要求: (1) 尺寸公差等级: IT6 级 (2) 几何公差等级: IT8 级 (3) 表面粗糙度: $Ra1.6\mu m$ 2. 能进行盘类、支架类零件加工,并达到以下要求: (1) 轴径公差等级: IT6 级 (2) 孔径公差等级: IT7 级 (3) 几何公差等级: IT8 级 (4) 表面粗糙度: $Ra1.6\mu m$	1. 内外径的车削加工方法、测量方法 2. 几何公差的测量方法 3. 表面粗糙度的测量方法

(续)

职业功能	工作内容	技能要求	相关知识
四、零件加工	(二) 螺纹加工	能进行单线等螺距的管螺纹、锥螺纹的加工,并达到以下要求: (1) 尺寸公差等级: IT6 ~ IT7 级 (2) 几何公差等级: IT8 级 (3) 表面粗糙度: $Ra1.6\mu m$	1. 常用螺纹的车削加工方法 2. 螺纹加工中的参数计算
	(三) 槽类加工	能进行内径槽、外径槽和端面槽的加工,并达到以下要求: (1) 尺寸公差等级: IT8 级 (2) 几何公差等级: IT8 级 (3) 表面粗糙度: $Ra3.2\mu m$	内、外径槽和端槽的加工方法
	(四) 孔加工	能进行孔加工,并达到以下要求: (1) 尺寸公差等级: IT7 级 (2) 几何公差等级: IT8 级 (3) 表面粗糙度: $Ra3.2\mu m$	孔的加工方法
	(五) 零件精度检验	能够进行零件的长度、内外径、螺纹、角度精度检验	1. 通用量具的使用方法 2. 零件精度检验及测量方法
五、数控车床维护与精度检验	(一) 数控车床日常维护	能够根据说明书完成数控车床的定期及不定期维护保养,包括机械、电、气、液压、数控系统检查和日常保养等	1. 数控车床说明书 2. 数控车床日常保养方法 3. 数控车床操作规程 4. 数控系统(进口与国产)使用说明书
	(二) 数控车床故障诊断	1. 能读懂数控系统的报警信息 2. 能发现数控车床的一般故障	1. 数控系统的报警信息 2. 机床的故障诊断方法
	(三) 机床精度检查	能够检查数控车床的常规几何精度	数控车床常规几何精度的检查方法

表 A-2 高级技能要求

职业功能	工作内容	技能要求	相关知识
一、加工准备	(一) 读图与绘图	1. 能够读懂中等复杂程度(如刀架)的装配图 2. 能够根据装配图拆画零件图 3. 能够测绘零件	1. 根据装配图拆画零件图的方法 2. 零件的测绘方法
	(二) 制订加工工艺	能编制复杂零件的数控车床加工工艺文件	复杂零件数控加工工艺文件的制订

(续)

职业功能	工作内容	技能要求	相关知识
一、加工准备	(三) 零件定位与装夹	1. 能选择和使用数控车床组合夹具和专用夹具 2. 能分析并计算车床夹具的定位误差 3. 能够设计与自制装夹辅具（如心轴、轴套、定位件等）	1. 数控车床组合夹具和专用夹具的使用、调整方法 2. 专用夹具的使用方法 3. 夹具定位误差的分析与计算方法
	(四) 刀具准备	1. 能够选择各种刀具及刀具附件 2. 能够根据难加工材料的特点，选择刀具的材料、结构和几何参数 3. 能够刃磨特殊车削刀具	1. 专用刀具的种类、用途、特点和刃磨方法 2. 切削难加工材料时的刀具材料和几何参数的确定方法
二、数控编程	(一) 手工编程	能运用变量编程编制含有公式曲线的零件数控加工程序	1. 固定循环和子程序的编程方法 2. 变量编程的规则和方法
	(二) 计算机辅助编程	能用计算机绘图软件绘制装配图	计算机绘图软件的使用方法
	(三) 数控加工仿真	能利用数控加工仿真软件实施加工过程仿真以及加工代码检查、干涉检查、工时估算	数控加工仿真软件的使用方法
三、零件加工	(一) 轮廓加工	能进行细长、薄壁零件加工，并达到以下要求： (1) 轴径公差等级：IT6 级 (2) 孔径公差等级：IT7 级 (3) 几何公差等级：IT8 级 (4) 表面粗糙度：Ra1.6μm	细长、薄壁零件加工的特点及装夹、车削方法
	(二) 螺纹加工	1. 能进行单线和多线等螺距的 T 形螺纹、锥螺纹加工，并达到以下要求： (1) 尺寸公差等级：IT6 级 (2) 几何公差等级：IT8 级 (3) 表面粗糙度：Ra1.6μm 2. 能进行变螺距螺纹的加工，并达到以下要求： (1) 尺寸公差等级：IT6 级 (2) 几何公差等级：IT7 级 (3) 表面粗糙度：Ra1.6μm	1. T 形螺纹、锥螺纹加工中的参数计算 2. 变螺距螺纹的车削加工方法

(续)

职业功能	工作内容	技能要求	相关知识
三、零件加工	(三) 孔加工	能进行深孔加工, 并达到以下要求: (1) 尺寸公差等级: IT6 级 (2) 几何公差等级: IT8 级 (3) 表面粗糙度: $Ra1.6\mu m$	深孔的加工方法
	(四) 配合件加工	能按装配图上的技术要求对套件进行零件加工和组装, 配合公差达到 IT7 级	套件的加工方法
	(五) 零件精度检验	1. 能够在加工过程中使用百(千)分表等进行在线测量, 并进行加工技术参数的调整 2. 能够进行多线螺纹的检验 3. 能进行加工误差分析	1. 百(千)分表的使用方法 2. 多线螺纹的精度检验方法 3. 误差分析的方法
四、数控车床维护与精度检验	(一) 数控车床日常维护	1. 能判断数控车床的一般机械故障 2. 能完成数控车床的定期维护保养	1. 数控车床机械故障和排除方法 2. 数控车床液压原理和常用液压元件
	(二) 机床精度检验	1. 能够进行机床几何精度检验 2. 能够进行机床切削精度检验	1. 机床几何精度检验内容及方法 2. 机床切削精度检验内容及方法

表 A-3 技师技能要求

职业功能	工作内容	技能要求	相关知识
一、加工准备	(一) 读图与绘图	1. 能绘制工装装配图 2. 能读懂常用数控车床的机械结构图及装配图	1. 工装装配图的画法 2. 常用数控车床的机械原理图及装配图的画法
	(二) 制订加工工艺	1. 能编制高难度、高精密、特殊材料零件的数控加工多工种工艺文件 2. 能对零件的数控加工工艺进行合理性分析, 并提出改进建议 3. 能推广应用新知识、新技术、新工艺、新材料	1. 零件的多工种工艺分析方法 2. 数控加工工艺方案合理性的分析方法及改进措施 3. 特殊材料的加工方法 4. 新知识、新技术、新工艺、新材料
	(三) 零件定位与装夹	能设计与制作零件的专用夹具	专用夹具的设计与制造方法

(续)

职业功能	工作内容	技能要求	相关知识
一、加工准备	(四) 刀具准备	1. 能够依据切削条件和刀具条件估算刀具的使用寿命 2. 根据刀具寿命计算并设置相关参数 3. 能推广应用新刀具	1. 切削刀具的选用原则 2. 延长刀具寿命的方法 3. 刀具新材料、新技术 4. 刀具使用寿命的参数设定方法
二、数控编程	(一) 手工编程	能够编制车削中心、车铣中心三轴及三轴以上(含旋转轴)的加工程序	编制车削中心、车铣中心加工程序的方法
	(二) 计算机辅助编程	1. 能用计算机辅助设计/制造软件进行车削零件的造型和生成加工轨迹 2. 能够根据不同的数控系统进行后置处理并生成加工代码	1. 三维造型和编辑 2. 计算机辅助设计/制造软件(三维)的使用方法
	(三) 数控加工仿真	能够利用数控加工仿真软件分析和优化数控加工工艺	数控加工仿真软件的使用方法
三、零件加工	(一) 轮廓加工	1. 能编制数控加工程序车削多拐曲轴达到以下要求: (1) 直径公差等级: IT6 级 (2) 表面粗糙度: $Ra1.6\mu m$ 2. 能编制数控加工程序, 对适合在车削中心加工的带有车削、铣削等工序的复杂零件进行加工	1. 多拐曲轴车削加工的基本知识 2. 车削加工中心加工复杂零件的车削方法
	(二) 配合件加工	能进行两件(含两件)以上具有多处尺寸链配合的零件加工与配合	多尺寸链配合的零件加工方法
	(三) 零件精度检验	能根据测量结果对加工误差进行分析并提出改进措施	精密零件的精度检验方法和检具设计知识
四、数控车床维护与精度检验	(一) 数控车床维护	1. 能够分析和排除液压和机械故障 2. 能借助字典阅读数控设备的主要外文信息	1. 数控车床常见故障诊断及排除方法 2. 数控车床专业外文知识
	(二) 机床精度检验	能够进行机床定位精度、重复定位精度的检验	机床定位精度检验、重复定位精度检验的内容及方法
五、培训与管理	(一) 操作指导	能指导本职业中级、高级进行实际操作	操作指导书的编制方法
	(二) 理论培训	1. 能对本职业中级、高级和技师进行理论培训 2. 能系统地讲授各种切削刀具的特点和使用方法	1. 培训教材的编写方法 2. 切削刀具的特点和使用方法

(续)

职业功能	工作内容	技能要求	相关知识
五、培训 与管理	(三) 质量管理	能在本职工作中认真贯彻各项质量标准	相关质量标准
	(四) 生产管理	能协助部门领导进行生产计划、调度及人员的管理	生产管理基本知识
	(五) 技术改造与创新	能够进行加工工艺、夹具、刀具的改进	数控加工工艺综合知识

表 A-4 高级技师技能要求

职业功能	工作内容	技能要求	相关知识
一、工艺 分析与设计	(一) 读图与绘图	1. 能绘制复杂工装装配图 2. 能读懂常用数控车床的电气、液压原理图	1. 复杂工装设计方法 2. 常用数控车床电气、液压原理图的画法
	(二) 制订加工工艺	1. 能对高难度、高精密零件的数控加工工艺方案进行优化并实施 2. 能编制多轴车削中心的数控加工工艺文件 3. 能够对零件加工工艺提出改进建议	1. 复杂、精密零件加工工艺的系统知识 2. 车削中心、车铣中心加工工艺文件编制方法
	(三) 零件定位与装夹	能对现有的数控车床夹具进行误差分析并提出改进建议	误差分析方法
	(四) 刀具准备	能根据零件要求设计刀具，并提出制造方法	刀具的设计与制造知识
二、零件 加工	(一) 异形零件加工	能解决高难度（如十字座类、连杆类、叉架类等异形零件）零件车削加工的技术问题，并制订工艺措施	高难度零件的加工方法
	(二) 零件精度检验	能够制订高难度零件加工过程中的精度检验方案	在机械加工全过程中影响质量的因素及提高质量的措施
三、数控 车床维护与 精度检验	(一) 数控车床维护	1. 能借助字典看懂数控设备的主要外文技术资料 2. 能够针对机床运行现状合理调整数控系统相关参数 3. 能根据数控系统报警信息判断数控车床故障	1. 数控车床专业外文知识 2. 数控系统报警信息

(续)

职业功能	工作内容	技能要求	相关知识
三、数控车床维护与精度检验	(二) 机床精度检验	能够进行机床定位精度、重复定位精度的检验	机床定位精度和重复定位精度的检验方法
	(三) 数控设备网络化	能够借助网络设备和软件系统实现数控设备的网络化管理	数控设备网络接口及相关技术
四、培训与管理	(一) 操作指导	能指导本职业中级、高级和技师进行实际操作	操作理论教学指导书的编写方法
	(二) 理论培训	能对本职业中级、高级和技师进行理论培训	教学计划与大纲的编制方法
	(三) 质量管理	能应用全面质量管理知识,实现操作过程的质量分析与控制	质量分析与控制方法
	(四) 技术改造与创新	能够组织实施技术改造和创新,并撰写相应的论文	科技论文撰写方法

四、比重表

表 A-5 理论知识

项 目		中级 (%)	高级 (%)	技师 (%)	高级技师 (%)
基本要求	职业道德	5	5	5	5
	基础知识	20	20	15	15
相关知识	加工准备	15	15	30	—
	数控编程	20	20	10	—
	数控车床操作	5	5	—	—
	零件加工	30	30	20	15
	数控车床维护与精度检验	5	5	10	10
	培训与管理	—	—	10	15
	工艺分析与设计	—	—	—	40
合计		100	100	100	100

表 A-6 技能操作

项 目		中级 (%)	高级 (%)	技师 (%)	高级技师 (%)
技能要求	加工准备	10	10	20	—
	数控编程	20	20	30	—
	数控车床操作	5	5	—	—

(续)

项 目		中级 (%)	高级 (%)	技师 (%)	高级技师 (%)
技能 要求	零件加工	60	60	40	45
	数控车床维护与精度检验	5	5	5	10
	培训与管理	—	—	5	10
	工艺分析与设计	—	—	—	35
合计		100	100	100	100

车削误差的种类、原因及预防

表 B-1 车削轴类零件的误差种类、原因及预防

误差种类	产生原因	预防措施
尺寸误差	1. 看错图样或程序给定尺寸不当 2. 对刀后没有进行试切削 3. 采用循环指令加工时精加工余量确定错误 4. 量具有误差或测量方法不正确 5. 由于切削热的影响，使工件尺寸发生变化 6. 车槽时，车槽刀主切削刃太宽或太狭，使槽宽尺寸不正确 7. 尺寸计算错误，使槽深度尺寸不正确	1. 必须看清图样尺寸要求，按照尺寸公差要求编写程序 2. 根据加工余量确定背吃刀量，进行对刀试切削，然后修正刀具磨损 3. 循环指令加工时正确给定精加工余量大小和矢量方向 4. 量具使用前，必须检查和调整零位，正确掌握测量方法 5. 不能在工件温度较高时测量，如要测量，应掌握工件的收缩情况，加工时充分浇注切削液，降低工件温度 6. 根据槽宽，选择车槽刀主切削刃宽度 7. 对留有磨削余量的工件，车槽时应考虑磨削余量
圆柱度误差	1. 用一夹一顶或两顶尖装夹工件时，后顶尖轴线不在主轴轴线上 2. 用卡盘装夹工件纵向进给车削时，产生锥度是由于车床床身导轨跟主轴轴线不平行 3. 工件装夹时悬伸较长，车削时因切削力影响使前端让开，产品产生锥度 4. 车刀中途逐渐磨损	1. 车削前必须找正锥度 2. 调整车床主轴与床身导轨的平行度以及床身导轨水平直线度 3. 尽量减少工件的伸出长度，或另一端用顶尖支撑，增加装夹刚性 4. 选用合适的刀具材料，或适当降低切削速度

(续)

误差种类	产生原因	预防措施
圆度误差	1. 车床主轴间隙太大 2. 毛坯余量不均匀，切削过程中背吃刀量发生变化 3. 工件用两顶尖装夹时，中心孔接触不良，或后顶尖顶得不紧，或前后顶尖产生径向圆跳动	1. 车削前检查主轴间隙，并调整使之合适。如因主轴轴承磨损太多，则需更换轴承 2. 分粗、精加工 3. 工件用两顶尖装夹必须松紧适当，若回转头尖产生径向圆跳动，须及时修理或更换
表面粗糙度达不到要求	1. 机床本身刚性不足，传动零件（如带轮）不平衡或主轴太松引起振动 2. 车刀刚性不足或伸出太长引起振动 3. 工件刚性不足引起振动 4. 车刀几何参数不合理 5. 切削用量选用不当	1. 消除或防止由于车床刚性不足而引起的振动（如调整车床各部分的间隙） 2. 增加车刀刚性和正确装夹车刀 3. 增加工件的装夹刚性 4. 选择合理的刀具角度和刀尖圆弧半径 5. 进给量不宜太大，精车余量和切削速度应选择恰当

表 B-2 钻孔的误差种类、原因及预防

误差项目	产生原因	预防措施
钻孔偏斜	1. 工件端面不平或与主轴轴线不垂直，未钻中心孔 2. 尾座轴线与主轴回转轴线有偏移 3. 钻头在刀架上安装未对准旋转中心 4. 初钻时钻头太长，刚性差，进给量过大 5. 钻头锋角不对称 6. 工件内部有偏孔、穿孔、砂眼、夹渣等	1. 钻孔前，车平钻孔面，在端面上预钻中心孔 2. 调整尾座与主轴同轴 3. 钻头严格对准旋转中心 4. 用短钻头初钻，以中心孔作引导，高速旋转，慢速进给；钻深孔时，换上长钻头，进给一段后，将钻头退出，清理铁屑，再继续切削 5. 修磨钻头，用角度样板检验 6. 降低转速，减小进给量
钻孔直径大	1. 钻头直径选错 2. 钻头切削刃不对称 3. 钻头未对准工件中心	1. 正确选用钻头 2. 正确修磨钻头 3. 检查钻头是否弯曲，钻夹头、钻套等是否合格，安装是否正确

表 B-3 车削套类零件的误差种类、原因及预防

误差种类	产生原因	预防方法
尺寸误差	1. 车孔时，没有仔细测量 2. 使用尾座铰孔时，铰刀尺寸不符合要求 3. 使用刀架铰孔时，尺寸超差 4. 车床定位或重复定位超差 5. 采用循环指令加工时，精加工余量确定错误	1. 仔细测量和修正刀具补偿值 2. 检查铰刀尺寸，找正尾座，采用浮动套筒 3. 铰刀未对正主轴回转中心 4. 调整维修机床 5. 循环指令加工时正确给定精加工余量大小和矢量方向
圆柱度误差	1. 车孔时，内孔车刀磨损，车床主轴轴线歪斜，床身导轨水平精度不够 2. 使用尾座铰孔时，孔口扩大，尾座偏移	1. 更换刀片或修磨内孔车刀，找正车床，大修车床 2. 找正尾座，采用浮动套筒
孔表面粗糙度值大	1. 车孔时，车刀磨损，刀杆截面尺寸小、刀杆伸出过长产生振动 2. 切削参数选择不当，产生积屑瘤；刀具几何参数选择不当，残留面积超差	1. 更换刀片或修磨内孔车刀，采用刚性较大的刀杆 2. 选择合理的刀具几何参数和切削参数
同轴度、垂直度误差	1. 采用一次安装方法车削时，工件移位或机床精度低 2. 采用心轴装夹时，心轴中心孔精度低或心轴本身同轴度超差 3. 用软卡爪装夹时，软卡爪没有经过车削	1. 装夹牢固，减小切削用量，调整机床精度 2. 心轴中心孔应保护好，如碰毛，可研修中心孔，如心轴弯曲，可校直或重制 3. 使用软卡爪前应在机床上车出，直径与工件装夹尺寸基本相同（+0.1mm）

表 B-4 铰孔的误差原因及预防措施

误差项目	产生原因	预防措施
孔径超差、孔径扩大	1. 铰刀直径偏大 2. 转速太高，铰刀径向圆跳动超差 3. 铰刀中心与工件轴线不重合 4. 积屑瘤的影响 5. 铰削余量过大或进给量选用不当	1. 精心测量和挑选铰刀直径或修研至合适尺寸 2. 降低转速，修磨铰刀刃口 3. 调整尾座对准工件旋转轴中心线，使用灵活的浮动刀杆 4. 及时修磨切削刃上的积屑瘤 5. 选择合适的铰削余量和进给量
孔径缩小	1. 铰刀磨损 2. 对于钢材工件，当铰削余量小，刃口不锋利时，会产生较大的弹性恢复 3. 铰刀偏角过小，寿命短	1. 认真测量、挑选铰刀刃口处直径，使用合格的铰刀 2. 合理控制铰削余量，保持铰刀刃口锋利 3. 选用偏角较大的铰刀

(续)

误差项目	产生原因	预防措施
产生喇叭口	1. 铰刀夹头位置偏斜 2. 铰刀偏角大，导向不好 3. 工件端面不平整，开始铰削易歪斜 4. 铰削时导套松动	1. 调整夹头位置，对准工件孔中心线，或用浮动夹头 2. 选用偏角较小的铰刀 3. 修正工件端面，或将铰刀对准孔轴线后缓慢进刀 4. 加固导套与夹具的连接
孔不圆	1. 铰削时工件松动 2. 铰削时产生振动 3. 薄壁工件装夹过紧，卸下后变形 4. 润滑不充分、不均匀	1. 选好工件定位面，重新装夹 2. 调整各部间隙，防止窜动和振动 3. 改变装夹方式，夹紧力要均匀分布、大小适度 4. 供应充足的切削液
轴心线不直	1. 铰削前工件孔不直 2. 切削刃导向不稳定 3. 铰削断续的孔产生偏移	1. 增加扩孔工序，最好在镗削后铰孔 2. 修磨导向刃，铰刀偏角不要过大 3. 调整切削用量，选用有导柱的铰刀
表面质量不好	1. 铰刀切削刃不锋利或有崩口、毛刺 2. 余量过大或过小 3. 积屑瘤的影响 4. 铰刀出屑槽内切屑过多 5. 切削液选用不当	1. 刃磨或更换铰刀 2. 铰削余量要适中 3. 去除积屑瘤，刃磨铰刀 4. 及时清除切屑 5. 合理选用切削液

表 B-5 车削圆锥的误差种类、原因及预防

误差种类	产生原因	预防措施
锥度（角度）误差	1. 编程时圆锥起点、终点给定有误 2. 角度编程时角度值错误 3. 铰内圆锥孔时，铰刀锥度不正确 4. 铰内圆锥孔时，铰刀的轴线与工件放置轴线不同轴	1. 正确计算圆锥起、终点坐标 2. 正确计算角度编程时的角度值 3. 修磨铰刀 4. 用百分表和试棒调整尾座套筒轴线
双曲线误差	车刀刀尖没有对准工件轴线	车刀刀尖必须严格对准工件轴线

表 B-6 车削特形面的误差种类、原因及预防

误差种类	产生原因	预防措施
轮廓不正确	1. 用成形车刀车削 （1）车刀形状刃磨不准确 （2）刃口未对准工件中心 2. 编程时轮廓基点给定有误	1. 成形车刀车削产生误差的预防措施 （1）刀口形状严格按样板刃磨 （2）调整安装，使刃口对准工件中心 2. 正确进行刀具半径补偿

(续)

误差种类	产生原因	预防措施
表面粗糙度达不到要求	1. 进给量过大或切削刃研磨质量较低 2. 工件、刀具刚性较差，产生振动 3. 产生积屑瘤 4. 非圆曲线加工时步距过大	1. 减小进给量，提高切削刃研磨质量 2. 加设工件辅助支承，采用弹簧刀杆，防止车削时振动 3. 去除积屑瘤，研磨刀口 4. 减小宏程序中变量自增步距
滚花加工中出现乱纹	1. 工件外径周长不能被滚花刀节距除尽 2. 开始滚花时吃刀压力太小或工件与滚花刀接触面积过大 3. 滚花刀同刀杆小轴配合间隙太大或滚花刀转动不灵 4. 工件转速太高，滚花刀在工件表面打滑 5. 未清除滚花刀中的细屑或滚花刀磨损	1. 调整工件外径周长，可把外径车小点，或更换滚花刀 2. 从开始滚花时就用较大压力，把滚花刀偏一个很小的角度 3. 检查间隙，更换小轴 4. 调整、降低转速 5. 清除细屑，更换滚花刀

表 B-7 车削螺纹蜗杆的误差种类、原因及预防

误差种类	产生原因	预防措施
中径（分度圆直径）误差	1. 车刀切深不正确 2. 精加工时 X、Z 轴磨损有误	1. 按照尺寸精度编程，精确对刀 2. 正确使用刀具磨损
螺距、导程误差	1. 螺纹螺距、导程值给定错误 2. 丝杠和主轴的轴向窜动过大，造成局部螺距、导程值不正确	1. 按照螺距、导程编写螺纹加工程序段 2. 及时调整好主轴和丝杠的轴向窜动量
牙型（齿型）误差	1. 车刀选择不正确 2. 车刀装夹不正确 3. 车刀磨损	1. 正确选择螺纹车刀 2. 装刀时用样板对刀 3. 合理选用切削用量并及时更换磨损的车刀
表面粗糙度值大	1. 产生积屑瘤 2. 刀杆刚性不够，切削时产生振动 3. 高速切削螺纹时，精加工背吃刀量太小或切屑向倾斜方向排出，拉毛螺纹牙侧 4. 工件刚性差，而切削用量选用过大	1. 用高速钢车刀切削时，应降低切削速度，并加切削液 2. 增加刀杆截面积，并减小伸出长度 3. 高速切削螺纹时，精加工背吃刀量一般要大于 0.1mm，并充分浇注切削液，使切屑及时排出 4. 选择合理的切削用量

附录 C

公差等级的选择及应用

在满足使用要求的前提下，应尽可能选择较低的公差等级，以降低加工成本。此外，在选择公差等级时，还应考虑表面粗糙度的要求。对于公称尺寸小于或等于 500mm 的配合，当公差等级高于或等于 IT8 时，推荐选择孔的公差等级比轴低一级；对于公差等级低于 IT8 或公称尺寸大于 500mm 的配合，推荐选用同级孔、轴配合。

表 C-1 标准公差数值

公 称 尺 寸		标准公差等级														
		IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
大于	到	μm								mm						
—	3	3	4	6	10	14	25	40	60	0.10	0.14	0.25	0.40	0.60	1.0	1.4
3	6	4	5	8	12	18	30	48	75	0.12	0.18	0.30	0.48	0.75	1.2	1.8
6	10	4	6	9	15	22	36	58	90	0.15	0.22	0.36	0.58	0.90	1.5	2.2
10	18	5	8	11	18	27	43	70	110	0.18	0.27	0.43	0.70	1.10	1.8	2.7
18	30	6	9	13	21	33	52	84	130	0.21	0.33	0.52	0.84	1.30	2.1	3.3
30	50	7	11	16	25	39	62	100	160	0.25	0.39	0.62	1.00	1.60	2.5	3.9
50	80	8	13	19	30	46	74	120	190	0.30	0.46	0.74	1.20	1.90	3.0	4.6
80	120	10	15	22	35	54	87	140	220	0.35	0.54	0.87	1.40	2.20	3.5	5.4
120	180	12	18	25	40	63	100	160	250	0.40	0.63	1.00	1.60	2.50	4.0	6.3
180	250	14	20	29	46	72	115	185	290	0.46	0.72	1.15	1.85	2.90	4.6	7.2
250	315	16	23	32	52	81	130	210	320	0.52	0.81	1.30	2.10	3.20	5.2	8.1
315	400	18	25	36	57	89	140	230	360	0.57	0.89	1.40	2.30	3.60	5.7	8.9
400	500	20	27	40	63	97	155	250	400	0.63	0.97	1.55	2.50	4.00	6.3	9.7

表 C-2 公差等级的选择

公差等级	应用范围及举例
IT01	用于特别精密的尺寸传递基准，例如特别精密的标准量块
IT0	用于特别精密的尺寸传递基准及宇航中特别重要的精密配合尺寸。例如，特别精密的标准量块，个别特别重要的精密机械零件尺寸，校对检验 IT6 级轴用量规的校对量规
IT1	用于精密的尺寸传递基准、高精密测量工具、特别重要的极个别精密配合尺寸。例如，高精密标准量规，校对检验 IT7 ~ IT9 级轴用量规的校对量规，个别特别重要的精密机械零件尺寸
IT2	用于高精密的测量工具、特别重要的精密配合尺寸。例如检验 IT6 ~ IT7 级工件用量规的尺寸制造公差，校对检验 IT8 ~ IT11 级轴用量规的校对塞规，个别特别重要的精密机械零件尺寸
IT3	用于精密测量工具，小尺寸零件的高精度的精密配合以及和 C 级滚动轴承配合的轴径与外壳孔径。例如，检验 IT8 ~ IT11 级工件用量规和校对检验 IT9 ~ IT13 级轴用量规的校对量规，与特别精密的 P4 级滚动轴承内环孔（直径至 100mm）相配的机床主轴，精密机械和高速机械的轴颈，与 P4 级向心球轴承外环相配合的壳体孔径，航空及航海工业中导航仪器上特殊精密的个别小尺寸零件的精度配合
IT4	用于精密测量工具、高精度的精密配合、和 P4 级、P5 级滚动轴承配合的轴径和外壳孔径。例如，检验 IT9 ~ IT12 级工件用量规和校对 IT12 ~ IT14 级轴用量规的校对量规，与 P4 级轴承孔（孔径大于 100mm）及与 P5 级轴承孔相配的机床主轴，精密机械和高速机械的轴颈，与 P4 级轴承相配的机床外壳孔，柴油机活塞销及活塞销座孔径，高精度（1 ~ 4 级）齿轮的基准孔或轴径，航空及航海工业中仪器的特殊精密的孔径
IT5	用于配合公差要求很小，形状公差要求很高的条件下，这类公差等级能使配合性质比较稳定，相当于旧国标中的最高精度，用于机床、发动机和仪表中特别重要的配合尺寸，一般机械中应用较少。例如，检验 IT11 ~ IT14 级工件用量规和校对 IT14 ~ IT15 级轴用量规的校对量规，与 P5 级滚动轴承相配的机床箱体孔，与 E 级滚动轴承孔相配的机床主轴，精密机械及高速机械的轴颈，机床尾座套筒，高精度分度盘轴颈，分度头主轴，精密丝杠基准轴颈，高精度镗套的外径等；发动机主轴仪表中精密孔的配合，5 级精度齿轮的基准孔及 5 级、6 级精度齿轮的基准轴
IT6	配合表面有较高均匀性的要求，能保证相当高的配合性质，使用稳定可靠，相当于旧国标 2 级轴和 1 级精度孔，广泛地应用于机械中的重要配合。例如，检验 IT12 ~ IT15 级工件用量规和校对 IT15 ~ IT16 级轴用量规的校对量规；与 E 级轴承相配的外壳孔及与滚子轴承相配的机床主轴轴颈，机床制造中装配式青铜蜗轮、轮壳外径安装齿轮、蜗轮、联轴器、传动带轮、凸轮的轴颈；机床丝杠支承轴颈、矩形花键的定心直径、摇臂钻床的立柱等；机床夹具导向件的外径尺寸，精密仪器中的精密轴，航空及航海仪表中的精密轴，自动化仪表，邮电机械，手表中特别重要的轴，发动机中气缸套外径，曲轴主轴颈，活塞销，连杆衬套，连杆和轴瓦外径；6 级精度齿轮的基准孔和 7 级、8 级精度齿轮的基准轴颈，特别精密如 1 级或 2 级精度齿轮的顶圆直径

(续)

公差等级	应用范围及举例
IT7	在一般机械中广泛应用，应用条件与 IT6 相似，但精度稍低，相当于旧国标中级精度的轴或 2 级精度的孔的公差。例如检验 IT14 ~ IT16 级工件用量规和校对 IT16 级轴用量规的校对量规；机床中装配式青铜蜗轮轮缘孔径，联轴器、传动带轮、凸轮等的孔径，机床卡盘座孔，摇臂钻床的摇臂孔，车床丝杠的轴承孔，机床夹头导向件的内孔，发动机中连杆孔、活塞孔，铰制螺栓定位孔；纺织机械中的重要零件，印染机械中要求较高的零件，精密仪器中精密配合的内孔，电子计算机、电子仪器、仪表中重要内孔，自动化仪表中重要内孔，7 级、8 级精度齿轮的基准孔和 9 级、10 级精密齿轮的基准轴
IT8	在机械制造中属于中等精度，在仪器、仪表及钟表制造中，由于基本尺寸较小，所以属于较高精度范围，在农业机械、纺织机械、印染机械、自行车、缝纫机、医疗器械中应用最广。例如，检验 IT16 级工件用量规，轴承座衬套沿宽度方向的尺寸配合，手表中跨齿轴，棘爪拨针轮等与夹板的配合，无线电仪表中的一般配合
IT9	应用条件与 IT8 相类似，但要求精度低于 IT8 时采用，比旧国标 4 级精度公差值稍大。例如，机床中轴套外径与孔，操纵件与轴，空转传动带轮与轴，操纵系统的轴与轴承等的配合，纺织机械、印染机械中一般配合零件，发动机中机油泵体内孔，气门导管内孔，飞轮与飞轮套的配合，自动化仪表中的一般配合尺寸，手表中要求较高零件的未注公差尺寸，单键联接中键宽配合尺寸，打字机中运动件的配合尺寸
IT10	应用条件与 IT9 相类似，但要求精度低于 IT9 时采用，相当于旧国标的 5 级精度公差。例如，电子仪器、仪表中支架上的配合，导航仪器中绝缘衬套孔与汇电环衬套轴的配合，打字机中铆合件的配合尺寸，手表中公称尺寸小于 18mm 时要求一般的未注公差尺寸，及大于 18mm 时要求较高的未注公差尺寸，发动机中油封挡圈孔与曲轴传动带轮毂配合的尺寸
IT11	广泛应用于间隙较大，且有显著变动也不会引起危险的场合，也可用于配合精度较低，装配后允许有较大的间隙，相当于旧国标的 6 级精度公差。例如，机床上法兰盘止口与孔、滑块与滑移齿轮、凹槽等；农业机械、机车车厢部件及冲压加工的配合零件，钟表制造中不重要的零件、手表制造用的工具及设备中未注公差的尺寸，纺织机械中较粗糙的活动配合，印染机械中要求较低的配合尺寸，磨床制造中的螺纹联接及粗糙的动联接，不作测量基准用的齿轮顶圆直径公差等
IT12	配合精度要求很低，装配后有很大的间隙，适用于基本上无配合要求的部位，要求较高的未注公差的尺寸极限偏差，比旧国标的 7 级精度公差稍小。例如，非配合尺寸及工序间尺寸，发动机分离杆、手表制造中工艺装备的未注公差尺寸，计算机工业中金属加工的未注公差尺寸的极限偏差，机床制造业中扳手孔和扳手座的连接等
IT13	应用条件与 IT12 相类似，但比旧国标 7 级精度公差值稍大。例如，非配合尺寸及工序间尺寸，计算机、打字机中切削加工零件及圆片孔，二孔中心距的未注公差尺寸
IT14	用于非配合尺寸及不包括在尺寸链中的尺寸，相当于旧国标的 8 级精度公差。例如，在机床、汽车、拖拉机、冶金机械、矿山机械、石油化工、电机、电器、仪器仪表、航空航海、医疗器械、钟表、自行车、缝纫机、造纸与纺织机械等机械加工零件中未注公差尺寸的极限偏差

(续)

公差等级	应用范围及举例
IT15	用于非配合尺寸及不包括在尺寸链中的尺寸，相当于旧国标的 9 级精度公差。例如，冲压件、木模铸造零件、重型机床制造，当公称尺寸大于 3 150mm 时的未注公差 的尺寸极限偏差
IT16	用于非配合尺寸，相当于旧国标的 10 级精度公差。例如，打字机中浇注件尺寸，无线电制造业中箱体外形尺寸，手术器械中的一般外形尺寸，压弯延伸加工用尺寸，纺织机械中木件的尺寸，塑料零件的尺寸，木模制造及自由锻造的尺寸
IT17、IT18	用于非配合尺寸，相当于旧国标的 11 级或 12 级精度的公差，用于塑料成型尺寸、手术器械中的一般外形尺寸、冷作和焊接用尺寸的公差

表 C-3 主要加工方法与公差等级的大致对应关系

加工方法	公差等级	加工方法	公差等级
研磨	IT01 ~ IT5	平磨（平面磨削）	IT5 ~ IT8
铰孔	IT6 ~ IT10	镗削（平面磨削）	IT7 ~ IT12
冲压	IT10 ~ IT14	塑料成型	IT13 ~ IT17
研削	IT4 ~ IT7	拉削	IT5 ~ IT8
铣削	IT8 ~ IT11	刨削	IT7 ~ IT12
锻造	IT10 ~ IT14	粉末冶金成型尺寸	IT7 ~ IT10
圆磨（内、外圆磨削）	IT5 ~ IT7	金刚石车削或镗削	IT5 ~ IT8
车削（内、外圆磨削）	IT7 ~ IT12	钻削	IT11 ~ IT14
砂型铸造	IT16		

----- | 附录 D | -----

轴、孔极限偏差

表 D-1 孔的极限偏差（公称尺寸为 10 ~ 315mm）（单位：μm）

公差带	等级	公称尺寸/mm							
		> 10 ~ 18	> 18 ~ 30	> 30 ~ 50	> 50 ~ 80	> 80 ~ 120	> 120 ~ 180	> 180 ~ 250	> 250 ~ 315
D	8	+ 77 + 50	+ 98 + 65	+ 119 + 80	+ 146 + 100	+ 174 + 120	+ 208 + 145	+ 242 + 170	+ 271 + 190
	▼ 9	+ 93 + 50	+ 117 + 65	+ 142 + 80	+ 174 + 100	+ 207 + 120	+ 245 + 145	+ 285 + 170	+ 320 + 190
	10	+ 120 + 50	+ 149 + 65	+ 180 + 80	+ 220 + 100	+ 260 + 120	+ 305 + 145	+ 355 + 170	+ 400 + 190
	11	+ 160 + 50	+ 195 + 65	+ 240 + 80	+ 290 + 100	+ 340 + 120	+ 395 + 145	+ 460 + 170	+ 510 + 190
E	6	+ 43 + 32	+ 53 + 40	+ 66 + 50	+ 79 + 60	+ 94 + 72	+ 110 + 85	+ 129 + 100	+ 142 + 110
	7	+ 50 + 32	+ 61 + 40	+ 75 + 50	+ 90 + 60	+ 107 + 72	+ 125 + 85	+ 146 + 100	+ 162 + 110
	8	+ 59 + 32	+ 73 + 40	+ 89 + 50	+ 106 + 60	+ 125 + 72	+ 148 + 85	+ 172 + 100	+ 191 + 110
	9	+ 75 + 32	+ 92 + 40	+ 112 + 50	+ 134 + 60	+ 159 + 72	+ 185 + 85	+ 215 + 100	+ 240 + 110
	10	+ 102 + 32	+ 124 + 40	+ 150 + 50	+ 180 + 60	+ 212 + 72	+ 245 + 85	+ 285 + 100	+ 320 + 110
F	6	+ 27 + 16	+ 33 + 20	+ 41 + 25	+ 49 + 30	+ 58 + 36	+ 68 + 43	+ 79 + 50	+ 88 + 56

(续)

公差带	等级	公称尺寸/mm							
		> 10 ~ 18	> 18 ~ 30	> 30 ~ 50	> 50 ~ 80	> 80 ~ 120	> 120 ~ 180	> 180 ~ 250	> 250 ~ 315
F	7	+ 34 + 16	+ 41 + 20	+ 50 + 25	+ 60 + 30	+ 71 + 36	+ 83 + 43	+ 96 + 50	+ 108 + 56
	▼ 8	+ 43 + 16	+ 53 + 20	+ 64 + 25	+ 76 + 30	+ 90 + 36	+ 106 + 43	+ 122 + 50	+ 137 + 56
	9	+ 59 + 16	+ 72 + 20	+ 87 + 25	+ 104 + 30	+ 123 + 36	+ 143 + 43	+ 165 + 50	+ 186 + 56
H	6	+ 11 0	+ 13 0	+ 16 0	+ 19 0	+ 22 0	+ 25 0	+ 29 0	+ 32 0
	▼ 7	+ 18 0	+ 21 0	+ 25 0	+ 30 0	+ 35 0	+ 40 0	+ 46 0	+ 52 0
	▼ 8	+ 27 0	+ 33 0	+ 39 0	+ 46 0	+ 54 0	+ 63 0	+ 72 0	+ 81 0
	▼ 9	+ 43 0	+ 52 0	+ 62 0	+ 74 0	+ 87 0	+ 100 0	+ 115 0	+ 130 0
	10	+ 70 0	+ 84 0	+ 100 0	+ 120 0	+ 140 0	+ 160 0	+ 185 0	+ 210 0
	▼ 11	+ 110 0	+ 130 0	+ 160 0	+ 190 0	+ 220 0	+ 250 0	+ 290 0	+ 320 0
K	6	+ 2 - 9	+ 2 - 11	+ 3 - 13	+ 4 - 15	+ 4 - 18	+ 4 - 21	+ 5 - 24	+ 5 - 27
	▼ 7	+ 6 - 12	+ 6 - 15	+ 7 - 18	+ 9 - 21	+ 10 - 25	+ 12 - 28	+ 13 - 33	+ 16 - 36
	8	+ 8 - 19	+ 10 - 23	+ 12 - 27	+ 14 - 32	+ 16 - 38	+ 20 - 43	+ 22 - 50	+ 25 - 56
N	6	- 9 - 20	- 11 - 24	- 12 - 28	- 14 - 33	- 16 - 38	- 20 - 45	- 22 - 51	- 25 - 57
	▼ 7	- 5 - 23	- 7 - 28	- 8 - 33	- 9 - 39	- 10 - 45	- 12 - 52	- 14 - 60	- 14 - 66
	8	- 3 - 30	- 3 - 36	- 3 - 42	- 4 - 50	- 4 - 58	- 4 - 67	- 5 - 77	- 5 - 86
P	6	- 15 - 26	- 18 - 31	- 21 - 37	- 26 - 45	- 30 - 52	- 36 - 61	- 41 - 70	- 47 - 79

(续)

公差带	等级	公称尺寸/mm							
		> 10 ~ 18	> 18 ~ 30	> 30 ~ 50	> 50 ~ 80	> 80 ~ 120	> 120 ~ 180	> 180 ~ 250	> 250 ~ 315
P	▼ 7	- 11	- 14	- 17	- 21	- 24	- 28	- 33	- 36
		- 29	- 35	- 42	- 51	- 59	- 68	- 79	- 88

注：标注▼者为优先公差等级，应优先选用。

表 D-2 轴的极限偏差（公称尺寸为 10 ~ 315mm）（单位：μm）

公差带	等级	公称尺寸/mm							
		>10 ~ 18	>18 ~ 30	>30 ~ 50	>50 ~ 80	>80 ~ 120	>120 ~ 180	>180 ~ 250	>250 ~ 315
d	6	-50 -61	-65 -78	-80 -96	-100 -119	-120 -142	-145 -170	-170 -199	-190 -222
		7	-50 -68	-65 -86	-80 -105	-100 -130	-120 -155	-145 -185	-170 -216
	8		-50 -77	-65 -98	-80 -119	-100 -146	-120 -174	-145 -208	-170 -242
		▼ 9	-50 -93	-65 -117	-80 -142	-100 -174	-120 -207	-145 -245	-170 -285
	10	-50 -120	-65 -149	-80 -180	-100 -220	-120 -260	-145 -305	-170 -355	-190 -400
f	▼ 7	-16 -34	-20 -41	-25 -50	-30 -60	-36 -71	-43 -83	-50 -96	-56 -108
	8	-16 -43	-20 -53	-25 -64	-30 -76	-36 -90	-43 -106	-50 -122	-56 -137
		9	-16 -59	-20 -72	-25 -87	-30 -104	-36 -123	-43 -143	-50 -165
g	5	-6 -14	-7 -16	-9 -20	-10 -23	-12 -27	-14 -32	-15 -35	-17 -40
		▼ 6	-6 -17	-7 -20	-9 -25	-10 -29	-12 -34	-14 -39	-15 -44
	7	-6 -24	-7 -28	-9 -34	-10 -40	-12 -47	-14 -54	-15 -61	-17 -69
h	5	0 -8	0 -9	0 -11	0 -13	0 -15	0 -18	0 -20	0 -23
		▼ 6	0 -11	0 -13	0 -16	0 -19	0 -22	0 -25	0 -29

(续)

公差带	等级	公称尺寸/mm							
		> 10 ~ 18	> 18 ~ 30	> 30 ~ 50	> 50 ~ 80	> 80 ~ 120	> 120 ~ 180	> 180 ~ 250	> 250 ~ 315
h	▼ 7	0 - 18	0 - 21	0 - 25	0 - 30	0 - 35	0 - 40	0 - 46	0 - 52
	8	0 - 27	0 - 33	0 - 39	0 - 46	0 - 54	0 - 63	0 - 72	0 - 81
	▼ 9	0 - 43	0 - 52	0 - 62	0 - 74	0 - 87	0 - 100	0 - 115	0 - 130
k	5	+ 9 + 1	+ 11 + 2	+ 13 + 2	+ 15 + 2	+ 18 + 3	+ 21 + 3	+ 24 + 4	+ 27 + 4
	▼ 6	+ 12 + 1	+ 15 + 2	+ 18 + 2	+ 21 + 2	+ 25 + 3	+ 28 + 3	+ 33 + 4	+ 36 + 4
	7	+ 19 + 1	+ 23 + 2	+ 27 + 2	+ 32 + 2	+ 38 + 3	+ 43 + 3	+ 50 + 4	+ 56 + 4
m	5	+ 15 + 7	+ 17 + 8	+ 20 + 9	+ 24 + 11	+ 28 + 13	+ 33 + 15	+ 37 + 17	+ 43 + 20
	6	+ 18 + 7	+ 21 + 8	+ 25 + 9	+ 30 + 11	+ 35 + 13	+ 40 + 15	+ 46 + 17	+ 52 + 20
	7	+ 25 + 7	+ 29 + 8	+ 34 + 9	+ 41 + 11	+ 48 + 13	+ 55 + 15	+ 63 + 17	+ 72 + 20
n	5	+ 20 + 12	+ 24 + 15	+ 28 + 17	+ 33 + 20	+ 38 + 23	+ 45 + 27	+ 51 + 31	+ 57 + 34
	▼ 6	+ 23 + 12	+ 28 + 15	+ 33 + 17	+ 39 + 20	+ 45 + 23	+ 52 + 27	+ 60 + 31	+ 66 + 34
	7	+ 30 + 12	+ 36 + 15	+ 42 + 17	+ 50 + 20	+ 58 + 23	+ 67 + 27	+ 77 + 31	+ 86 + 34
p	5	+ 26 + 18	+ 31 + 22	+ 37 + 26	+ 45 + 32	+ 52 + 37	+ 61 + 43	+ 70 + 50	+ 79 + 56
	▼ 6	+ 29 + 18	+ 35 + 22	+ 42 + 26	+ 51 + 32	+ 59 + 37	+ 68 + 43	+ 79 + 50	+ 88 + 56
	7	+ 36 + 18	+ 43 + 22	+ 51 + 26	+ 62 + 32	+ 72 + 37	+ 83 + 43	+ 96 + 50	+ 108 + 56

注：标注▼者为优先公差等级，应优先选用。

附录 E

FANUC 系统数控车床报警信息

表 E-1 FANUC 系统数控车床报警信息

序 号	信 息	内 容
000	请关闭电源	设置了需要关闭电源的参数后必须关闭电源
003	数字位太多	输入了超过允许位数的数据（参见最大指令值一项）
004	地址没找到	在程序段的开始无地址而输入了数字或字符“—”，修改程序
005	地址后面无数据	地址后面无适当数据，而是另一地址或 EOB
006	非法使用负号	符号“—”输入错误（在不能使用负号的地址后输入了“—”符号或输入了两个或多个“—”符号），修改程序
007	非法使用小数点	小数点“.”输入错误（在不允许使用的地址中输入了“.”符号，或输入了两个或多个“.”符号），修改程序
009	输入非法地址	在有效信息区输入了不能使用的字符，修改程序
010	不正确的 G 代码	使用了不能使用的 G 代码或指令了无此功能的 G 代码，修改程序
011	无进给速度指令	在切削进给中未指令进给速度或进给速度不当。修改程序
014	非法螺距指令	在变螺距螺纹切削中，由地址 K 指定的螺距变化量超过最大指令值或指定了使螺距变为负值的指令
020	超出半径公差	在圆弧插补（G02 或 G03）中，起始点与圆弧中心之间的距离和终点与圆弧中心之间距离的距离差值超过了参数 3410 中指定的值
022	没有圆弧半径	在圆弧插补中，不管是 R（指定圆弧半径），还是 I、J 和 K（指定从起始点到中心的距离），都没有被指令
023	非法半径指令	有半径指定的圆弧插补中，地址 R 中指令了负值，修改程序
029	非法偏置值	由 T 代码指定的补偿值太大，修改程序
030	非法补偿号	由 T 代码指定的刀具补偿号太大，修改程序

(续)

序 号	信 息	内 容
031	G10 中有非法 P 指令	由 G10 设定偏置量时，偏置号的指令 P 值过大或未被指定，修改程序
032	G10 中有非法补偿值	由 G10 设定偏置量时或由系统变量写入偏置量时，偏置量过大
033	在 NRC 中无结果	刀尖半径补偿方式中的交点不能确定，修改程序
034	圆弧指令时不能启动或取消刀补	刀尖半径补偿方式中，G02 或 G03 指令时企图启动或取消刀补，修改程序
035	不能指令 G31	在刀尖半径补偿方式中，指令了跳转切削（G31），修改程序
038	起点或终止点在圆弧程序段中的干涉	在刀尖半径补偿方式中，将出现过切，因为圆弧起点与圆弧中心相同，修改程序
039	在 NRC 中不能指令倒角/拐角	在刀尖半径补偿方式中，在启动、取消或切换 G41、G42 指令时指定了倒角或拐角 R。程序可能会导致倒角或拐角 R 时发生过切，修改程序
040	G90/G94 程序段中有干涉	在固定循环 G90 或 G94 中，刀尖半径补偿将发生过切，修改程序
041	在 NRC 中有干涉	在刀尖半径补偿方式中将发生过切，修改程序
050	在螺纹切削程序段中不允许 CHF/CNR	在螺纹切削程序段中，指定了倒角和拐角 R，修改程序
051	在 CHF/CNR 之后错误移动	在倒角或拐角 R 后面的程序段中指定了错误的移动指令或移动距离，修改程序
052	在 CHF/CNR 之后不是 G01 代码	倒角或拐角 R 后面的程序段，不是 G01 指令，修改程序
053	太多的地址指令	在倒角或拐角 R 指令中，指定了两个或更多的 I、K 和 R。或者，在直接图形尺寸编程中，逗号之后指令了 R 或 C 之外的符号，修改程序
055	CHF/CNR 中缺少移动量	在倒角或拐角 R 的程序段中，移动量小于倒角量或拐角 R 值
056	CHF/CNR 中没有终点和角度	在只指定角度程序段后面的一个程序段中，指令中既没有指定角度，也没有指定终点，修改程序
061	G70 ~ G73 指令中没有地址 P/Q	G70、G71、G72 或 G73 指令中没有指定地址 P 或 Q，修改程序

(续)

序 号	信 息	内 容
062	在 G71 ~ G76 中有非法指令	1. 在 G71 ~ G76 中切削深度为 0 或负值 2. 在 G73 中重复次数为 0 或负值 3. 在 G74 或 G75 中, Δi 或 Δk 的指定值为负数 4. 在 G74 或 G75 中虽然 Δi 或 Δk 的值为零, 但是地址 U 或 W 的指定值不是零 5. 在 G74 或 G75 中, 虽然指定了退刀方向, 但是 Δd 的指定值为负数 6. 在 G76 中, 指定的第一次的螺纹高度或切削深度值为零或负数 7. 在 G76 中, 指定的最小切削深度大于螺纹高度 8. 在 G76 中, 指定了不能使用的刀尖角度, 修改程序
063	未发现顺序号	G70、G71、G72 或 G73 指令中没有发现用地址 P 指定的顺序号。修改程序
064	图形程序非单调	重复固定循环 (G71 或 G72) 中指定了不是单调增大或单调缩小的图形形状
065	G71 ~ G73 中有非法指令	1. 在 G71、G72 或 G73 指令中用地址 P 指定的顺序号的程序段中没有 G00 或 G01 指令 2. 在 G71 或 G72 中用地址 P 指定的顺序号的程序段中分别指令了地址 Z (W) 或 X (U), 修改程序
066	G71 ~ G73 中有不正确的 G 代码	在 G71、G72 或 G73 中用地址 P 指定的两个程序段之间指令了不可使用的 G 代码, 修改程序
067	在 MD1 方式下不能运行	用地址 P 和 Q 指定了 G70、G71、G72 或 G73 指令。修改程序
069	G70 ~ G73 中格式错误	G70、G71、G72 或 G73 中用地址 P 和 Q 指定的程序段中最后的移动指令由倒角或拐角 R 结束
077	子程序嵌套错误	子程序调用超过了 5 重。修改程序
090	参考点返回未完成	参考点返回的起点太接近于参考点, 或速度太慢, 使得不能执行参考点返回
091	参考点返回未完成	在自动运行的停止状态, 不能进行手动参考点返回
100	参数写入有效	在参数 (设置) 屏幕上, PWE (参数写入有效) 被设置为 1。将该参数设置为 0, 然后再启动系统
114	宏程序格式错误	< 公式 > 的格式出错, 修改程序
115	非法变量	在用户宏程序或高速切削循环中指定了不能作为变量号的值, 修改程序

(续)

序 号	信 息	内 容
116	写保护变量	赋值语句左边的变量不允许赋值，修改程序
118	括号嵌套错误	括弧的嵌套超过了上限（5重），修改程序
122	四重的宏模态—调用	宏模态—调用的嵌套层次为4重，修改程序
124	缺少结束状态	DO-END 没有一一对应。修改程序
125	宏程序格式错误	<公式>格式错误，修改程序
126	非法循环数	对 DO n 循环，条件 $1 \leq n \leq 3$ 不满足，修改程序
127NC	指令和宏指令在同一程序段	NC 指令和用户宏指令语句共存。修改程序
128	非法宏指令顺序号	在分支指令中的顺序号不是 0~9999，或未被检索到。修改程序
224	返回参考点	在自动运行启动之前，未执行参考点返回
1000	保护开关断开	机床侧盖未压实
1001	CPU 报警	按 PUC 复位键解除
1007	刀库报警	撞刀造成卡刀、刀库不回位。修复刀库
1800	润滑油不足	添加润滑油
5257	MDI 方式中不允许 G41/G42	在 MDI 方式中，指定了 G41/G42（刀具半径补偿 C：M 系列，刀尖补偿：T 系列，取决于参数 No. 5008 的第 4 位的设置）

参 考 文 献

- [1] 彭晓南. 数控技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [2] 韩鸿鸾. 数控加工工艺学 [M]. 2 版. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2005.
- [3] 席文杰. 最新数控机床加工工艺编程技术与维护维修实用手册 [M]. 长春: 吉林电子出版社, 2004.
- [4] 陈婵娟. 数控车床设计 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [5] 吴祖育. 数控机床 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2000.
- [6] 周炳文. 实用数控机床故障诊断及维修技术 500 例 [M]. 北京: 知识出版社, 2006.
- [7] 罗学科, 谢富春. 数控原理与数控机床 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.

技术工人岗位必备 规范化您的岗位操作

员工岗位手册系列

车工岗位手册

铣工岗位手册

钳工岗位手册

磨工岗位手册

数控铣床操作工岗位手册

数控车床操作工岗位手册

加工中心操作工岗位手册

机械加工产品检验工岗位手册

金属热处理工岗位手册

铸造工岗位手册

维修电工岗位手册

制图员岗位手册

电机检测及修理工岗位手册

高低压电器装配(配线)工岗位手册

电机装配工岗位手册

天车工岗位手册

起重装卸机械操作工岗位手册

叉车工岗位手册

中央空调工岗位手册

无损检测员岗位手册

地址:北京市百万庄大街22号

邮政编码:100037

电话服务

社服务中心:010-88361066

销售一部:010-68326294

销售二部:010-88379649

读者购书热线:010-88379203

网络服务

教材网: <http://www.cmpedu.com>

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

上架指导 工业技术 / 机械工程 / 机械加工 / 数控车工

ISBN 978-7-111-47177-6

策划编辑◎何月秋 / 封面设计◎马精明

ISBN 978-7-111-47177-6



9 787111 471776 >

定价: 38.00元